



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y
Geográfica
Unidad de Posgrado

Propuesta de zonificación ambiental territorial en base a modelos matemáticos para la cuenca de la quebrada el Pedregal, Lurigancho - Chosica, Lima, 2015 – 2017

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster Ciencias
Ambientales con mención en Gestión y Ordenamiento Ambiental
del Territorio

AUTOR

Marcos Fidel ESPINOZA PEREYRA

ASESOR

Oscar Rafael TINOCO GÓMEZ

Lima, Perú

2017



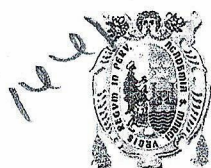
Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Espinoza, M. (2017). *Propuesta de zonificación ambiental territorial en base a modelos matemáticos para la cuenca de la quebrada el Pedregal, Lurigancho - Chosica, Lima, 2015 – 2017*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



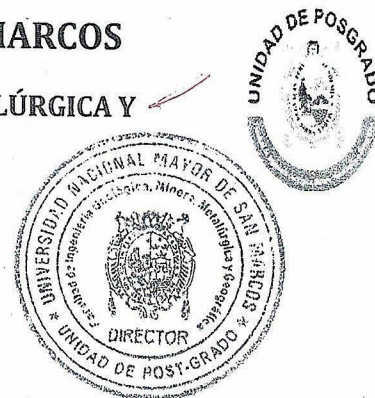
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y
GEOGRÁFICA**

UNIDAD DE POSGRADO

«Año del buen servicio al ciudadano»

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA



En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima, a los trece días del mes de noviembre del 2017, siendo las 11:00 horas, se reúnen los suscritos miembros del JURADO EXAMINADOR DE TESIS, nombrado mediante Dictamen N.º 866/UPG-FIGMMG/2017 del 07 de noviembre del 2017, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TÍTULO

**«PROPUESTA DE ZONIFICACIÓN AMBIENTAL TERRITORIAL EN BASE A MODELOS
MATEMÁTICOS PARA LA CUENCA DE LA QUEBRADA EL PEDREGAL, LURIGANCHO – CHOSICA, LIMA,
2015 - 2017»**

Que, presenta el Bach. **MARCOS FIDEL ESPINOZA PEREYRA**, para optar el **GRADO DE
MAGÍSTER EN CIENCIAS AMBIENTALES CON MENCIÓN EN GESTIÓN Y ORDENAMIENTO AMBIENTAL
DEL TERRITORIO**.

El secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente 04892-FIGMMG-2015 del 10 de julio del 2015, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento de los Estudios de Maestría».

Luego de la Sustentación de la Tesis, los miembros del Jurado Examinador procedieron a aplicar la escala descrita en el Art. 61 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

Muy Bueno, (17)

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS AMBIENTALES CON MENCIÓN EN GESTIÓN Y
ORDENAMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO** al Bach. **MARCOS FIDEL ESPINOZA PEREYRA**.

Siendo las 12:00 horas, se dio por concluido al acto académico

[Firma]

DR. MIGUEL ALBERTO IBÁÑEZ SÁNCHEZ
Presidente

[Firma]

DR. FRANCISCO ALEJANDRO ALCÁNTARA BOZA
Secretario

[Firma]

MG. JORGE ANTONIO RÍOS VELARDE
Miembro

[Firma]

DR. JUAN FELIPE MELÉNDEZ DE LA CRUZ
Miembro

[Firma]

DR. OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ
Asesor

Dedicado a mi madre, padre, abuelas, hermanas, hermanos,
sobrinas, asesor y profesores por sus enseñanzas, ayuda y paciencia
y a cada una de las personas que leen estas páginas

INDICE

RESUMEN	viii
SUMMARY	x
CAPITULO 1: INTRODUCCIØN	1
1.1. Situaci³n Problem³tica	1
1.2. Formulaci³n del Problema	4
1.3. J ustificaci³n te³rica.....	5
1.4. J ustificaci³n practica	5
1.5. Objetivos	6
CAPITULO 2: MARCO TE³RICO	7
2.1. Marco Filos³fico o epistemol³gico de la investigaci³n.....	7
2.2. Antecedentes de investigaci³n	8
2.3. Bases Te³ricas	18
CAPITULO 3: METODOLOGIA	110
3.1 Hip³tesis general	110
3.2 Hip³tesis especificas	110
3.3 Identificaci³n de variables.....	110
3.4 Operacionalizaci³n de variables	111
3.8 Tipo y Dise±o de Investigaci³n	114
3.9 Unidad de an³lisis.....	115
3.10 Poblaci³n de estudio.....	115
3.11 Tama±o de muestra	115
3.12 Selecci³n de muestra	116
3.13 T³cnicas de recolecci³n de Datos	116
3.14 An³lisis e interpretaci³n de la informaci³n.....	116
CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIØN.....	117
4.1. An³lisis, interpretaci³n y discusi³n de resultados.....	117
4.2. Pruebas de hip³tesis	124
4.3. Presentaci³n de resultados.....	125
4.3.1. Altitud, Pendiente, Orientaci³n, Curvatura y Rugosidad	125
4.3.2. Cuenca visual	132
4.3.3. Estimaci³n del thalweg de un flujo de agua o aluvional sobre el relieve	136
4.3.4. V³as.....	139

4.3.5. Propuesta de zonificación.....	145
CAPITULO 5: IMPACTOS	150
5.1. Propuesta para la solución del problema	150
5.2. Costos de implementación de la propuesta	150
5.3. Beneficios que aporta la propuesta.....	151
CONCLUSIONES	152
RECOMENDACIONES	154
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155
ANEXOS	
I. Procedimiento de la toma de datos en la cuenca de la quebrada el Pedregal	171
II. Archivos de salida como resultado de la utilización de los modelos matemáticos.....	172
III. Diseño de los algoritmos que representen a los Modelos Matemáticos	176
IV. Diferencias entre la interpolación bicúbica y la interpolación `topo to raster_	201
V. Registros hidrológicos de la cuenca de la quebrada el Pedregal	212

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Semejanzas y diferencias entre un MDT y un Raster.	50
Cuadro 2. Clases de pendiente, Van Zuidam	82
Cuadro 3. Valores de la Orientaci3n	84
Cuadro 4. Valoraci3n del tipo de pavimento	94
Cuadro 5. Identificaci3n de variables	111
Cuadro 6. Operacionalizaci3n de variables.	113
Cuadro 7. An3lisis de datos de los resultados de los modelos matem3ticos.	119
Cuadro 8. Propuesta de zonificaci3n Pedregal.	146
Cuadro 9. Unidades geomorfol3gicas en la quebrada el Pedregal por la pendiente.	146
Cuadro 10. Geoformas y procesos en la quebrada el Pedregal.	147
Cuadro 11. Costos de la propuesta: Partidas y Sub partidas.	151
Cuadro 12. Estructura del archivo PEDREGAL_DIFICULTAD_VIAS.shp.	173
Cuadro 13. Estructura del archivo PEDREGAL_THALWEG_FLUJO_AGUA.shp.....	174
Cuadro 14. Caracter3sticas del mosaico de im3genes del Google Earth... ..	175
Cuadro 15. Listado de MDT-grillas generados en esta investigaci3n.	175
Cuadro 16. Valores para el c3culo de la poblaci3n muestral para la relaci3n Bic3blica - "Topo to Raster".	202
Cuadro 17. Par3metros y valores para la repartici3n de los puntos muestrales.	203
Cuadro 18. Categorizaci3n de los resultados de la poblaci3n total.....	209
Cuadro 19. Categorizaci3n de los resultados de las muestras.	209
Cuadro 20. Prueba de la Ji - Cuadrada.	209
Cuadro 21. Datos de la estaci3n Yanacoto ubicada anteriormente en la quebrada el Pedregal.....	212
Cuadro 22. C3culo de las curvas regionales de crecidas (Caudales en la cuenca/sub cuencas tributarias)	212
Cuadro 23. Caudales mensuales medios de la estaci3n Yanacoto periodo 1955-09 al 1960-08.....	213

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Alcance de la tesis.....	25
Figura 2. Esquema de una cuenca.	27
Figura 3. Variables topográficas.	30
Figura 4. Criterios para la cuenca visual, hidrografía y caracterización de la localización.	33
Figura 5. Tipos de modelos.	36
Figura 6. Moldeamiento del sistema cuenca.....	39
Figura 7. Ejemplo de un modelo matemático.....	40
Figura 8. Sistematización del modelamiento de la información (superior) y gráfico que un entorno / espacio bajo el enfoque del sistemas.	43
Figura 9. Ejemplo del uso de geometrías en función a la Escala de Representación.....	45
Figura 10. Ejemplo del uso de polígonos, polilíneas y puntos.	46
Figura 11. Muestra de un MDT (izquierda) y Raster (derecha) como estructuras matriciales.	48
Figura 12. Ejemplo de una matriz con valores enteros y otra de valores lógicos.....	49
Figura 13. Ejemplo de un Raster, representado una imagen de un área de la quebrada el Pedregal.....	49
Figura 14. Apertura de un archivo ASC "sin" y "con" referencia espacial. ...	52
Figura 15. Apertura de un archivo geotiff.....	53
Figura 16. Comparación estructural de un archivo asc y un geotiff. Fuente. Elaboración propia.....	54
Figura 17. Comparativo visual entre un MDT (arriba) y un Raster (abajo). Fuente. Imagen de arriba: Elaboración propia Imagen de abajo: Tomado de Google Earth (2014) y usando Sasplanet para la descarga de las imágenes.	56
Figura 18. Una parte del archivo con los puntos topográficos.	57
Figura 19. La topografía como dato continuo.	59
Figura 20. Comparación de una superficie topográfica y una matriz de datos.	59
Figura 21. Sistema de coordenadas cartesianas.....	60

Figura 22. Representaci3n de un punto en un espacio de tres y dos dimensiones.....	61
Figura 23. Representaci3n de una polil3nea en un espacio de tres y dos dimensiones.....	65
Figura 24. Una grilla de puntos.....	66
Figura 25. Representaci3n de una grilla.	68
Figura 26. Explicaci3n sobre los puntos sin valores de altitud.....	70
Figura 27. Funci3n Bic3blica para el remuestreo de datos.....	71
Figura 28. Distribuci3n de las ecuaciones en la Funci3n Bic3blica.....	73
Figura 29. Funci3n Seno y su polinomio equivalente.....	74
Figura 30. Explicaci3n del algoritmo de la funci3n bic3blica.....	78
Figura 31. Funci3n regrilla.	79
Figura 32. Muestra del c3culo de la pendiente y orientaci3n.	81
Figura 33. Explicaci3n de la curvatura.	84
Figura 34. Valores de la Curvatura.	85
Figura 35. Muestra del c3culo de la rugosidad.....	86
Figura 36. Explicaci3n de la condici3n de visualizaci3n de dos puntos.	
Fuente. Elaboraci3n propia.....	88
Figura 37. Desarrollo de la cuenca visual.	89
Figura 38. Modelamiento del recorrido de una gota sobre una superficie. ..	91
Figura 39. Punto 8: Muestra de un sendero en la cuenca media de Pedregal.	94
Figura 40. Punto 6: Muestra de una carretera de tercera clase (asfaltado) en Pedregal. (Av. T3pac Amaru en Pedregal).	95
Figura 41. Punto 10: Muestra de una trocha carrozable (afirmado) en la cuenca media de Pedregal.	96
Figura 42. Punto 1: Cauce de la quebrada el Pedregal en la Carretera Central.	103
Figura 43. Centro C3vico de San Antonio de Pedregal.	105
Figura 44. Escalera en la cuenca baja de Pedregal sobre canal de c3rcava.	105
Figura 45. Bolsas de arenas en Pedregal.....	106
Figura 46. Lotizaci3n de terrenos en la cuenca media de Pedregal.	107
Figura 47. 3rbol de huancoi en la cuenca alta de Pedregal.....	108

Figura 48. Malla para la contención de huaycos.....	108
Figura 49. Punto 2.	140
Figura 50. Punto 3.	140
Figura 51. Punto 5.	141
Figura 52. Punto 7.	141
Figura 53. Punto 4.	142
Figura 54. Punto 9.	142
Figura 55. Ejemplo de uso de la Lógica de grilla.	195
Figura 56. Explicación del criterio para determinar si un punto est� dentro o fuera de un polígono.	198
Figura 57. Resultados de la prueba Kolmogorov - Smirnov para la determinación de la normalidad de la muestra.	205
Figura 58. Dibujo de las 392 muestras.	206
Figura 59. Valores de la regresión de las 392 muestras.....	206
Figura 60. Resultados de la prueba Kolmogorov - Smirnov para la determinación de la normalidad de la muestra transformada.	207
Figura 61. Distribución normal.	208
Figura 62. Gráfico de los registros media mensual de la estación Yanacoto periodo 1955-09 al 1960-08. Fuente. SENAMHI (2017).	214

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Ubicaci3n de la quebrada el Pedregal.	2
Mapa 2. 3rea de actividades socioecon3micas del distrito de Lurigancho - Chosica.....	102
Mapa 3. Cuenca de la quebrada el Pedregal.....	109
Mapa 4. Comparaci3n de la propuesta de zonificaci3n con la zonificaci3n del INDECI - PNUD	123
Mapa 5. Topograf3a Bic3blica Pedregal (10m)	127
Mapa 6. Pendiente Bic3blica Pedregal (10m).....	128
Mapa 7. Orientaci3n Bic3blica Pedregal (10m).....	129
Mapa 8. Curvatura Bic3blica Pedregal (10m)	130
Mapa 9. Rugosidad Bic3blica Pedregal (10m).....	131
Mapa 10. Cuenca Visual Bic3blica Pedregal (10m) - Google Earth.....	133
Mapa 11. Cuenca Visual Bic3blica Pedregal (10m) - Hillshade	134
Mapa 12. Cuenca Visual Bic3blica Pedregal (10m) - Orientaci3n.....	135
Mapa 13. Flujo de agua Bic3blica Pedregal (10m) - Hillshade	137
Mapa 14. Flujo de agua Bic3blica Pedregal (10m) - Google Earth.....	138
Mapa 15. Caracterizaci3n de la dificultad de v3as Bic3blica Pedregal (10m)	143
Mapa 16. Caracterizaci3n de la dificultad de v3as Bic3blica Pedregal (10m) - Pendiente.....	144
Mapa 17. Propuesta Zonificaci3n Pedregal	148
Mapa 18. Geomorfolog3a Pedregal (10m).....	149
Mapa 19. Ubicaci3n de muestras en Pedregal (10m)	204
Mapa 20. Distribuci3n de las diferencias de los resultados de la interpolaci3n bic3blica y Topo to raster_.....	211

RESUMEN

Esta tesis presenta una serie de modelos matemáticos para la generación de información para una zonificación ambiental territorial en la cuenca de la quebrada del Pedregal (Distrito de Lurigancho - Chosica). Dicha información proviene de una imagen ALOS-PALSAR con una resolución espacial de 12.5 m entre cada punto. Los modelos matemáticos presentados en este trabajo de investigación son: caracterización de la Pendiente, Orientación, Curvatura y Rugosidad de la topografía; Flujo de agua, Cuenca visual y la caracterización de la dificultad de las vías de acuerdo a la topografía, el ancho, longitud y la superficie de la vía. Estos modelos están asistidos por una serie de funciones como la interpolación bicúbica y el regrillado de datos (redimensionamiento de la resolución espacial) de los mencionados puntos. Además, se utilizó un algoritmo que de acuerdo a los valores obtenidos por los modelos matemáticos y el criterio propio del investigador dio como resultado a la zonificación propuesta.

Para la entrada y salida de datos de los modelos matemáticos, se desarrolló una metodología que trate de representar de una manera abstracta geometrías que representen puntos, polilíneas y grillas siendo estas últimas un conjunto ordenado de puntos. Como resultado digital de estos modelos se tiene archivos vectoriales shapefile e imágenes raster en formato asc.

Para el control de la información generada por la interpolación bicúbica se utilizó el programa ArcGIS, específicamente la función de interpolación Topo to Raster_ perteneciente al módulo Spatial Analyst_. También se utilizó imágenes de satélite provenientes del Google Earth para el contraste de la información generada por los modelos matemáticos.

Como resultado final, se propone cuatro zonas: Zona de atención aluvional (1.37 % del área de la cuenca), Zona de atención aluvional - vivienda restringido (8.30 % del área de la cuenca), Zona de atención

aluvional - protecci3n (64.94 % del 3rea de la cuenca) y Zona de protecci3n (25.39 % del 3rea de la cuenca).

Descriptores: ordenamiento territorial, programaci3n sig, modelos matem3ticos, zonificaci3n, zonificaci3n ambiental territorial, algoritmos, abstracci3n de geometr3as, programaci3n orientada a objetos, m3todos num3ricos, Lurigancho - Chosica, Pedregal.

SUMMARY

This thesis presents some mathematical models in order to generate information to apply an environmental - territorial zoning over Pedregal stream basin (Lurigancho - Chosica district). This information comes from an ALOS-PALSAR image with 12.5 m spatial resolution between every point. The said mathematical models used in this investigation are: topographic characterization about Slope, Aspect, Curvature and Rugosity; Water path; Viewshed; and Route difficulty according to the topography, width, longitude and surface of route. These models are assisted by some functions such as Bicubic interpolation and data resize. Besides, an algorithm was used according to mathematical models results and researcher criteria and as a consequence it got a proposal zoning.

The data input - output process is supported by a methodology that represents, using geometries, points, polylines and grids, these last ones are defined as a sorted collection of points. As a digital result from these models it shows vector files (using shapefile file format) and raster-image files (using asc raster file format).

In order to control of the generated information from bicubic interpolation, it was used the ArcGIS program, it has an interpolation function named Topo to Raster_ from its Spatial Analyst_ tool. Google Earth images were used to control information made by mathematical models.

As a final result, it proposed four zones: Alluvial care zone (1.37 % basin area), Alluvial care - housing restricted zone (8.30 % basin area), Alluvial care - Protection zone (64.94 % basin area) and Protection zone (25.39 % basin area).

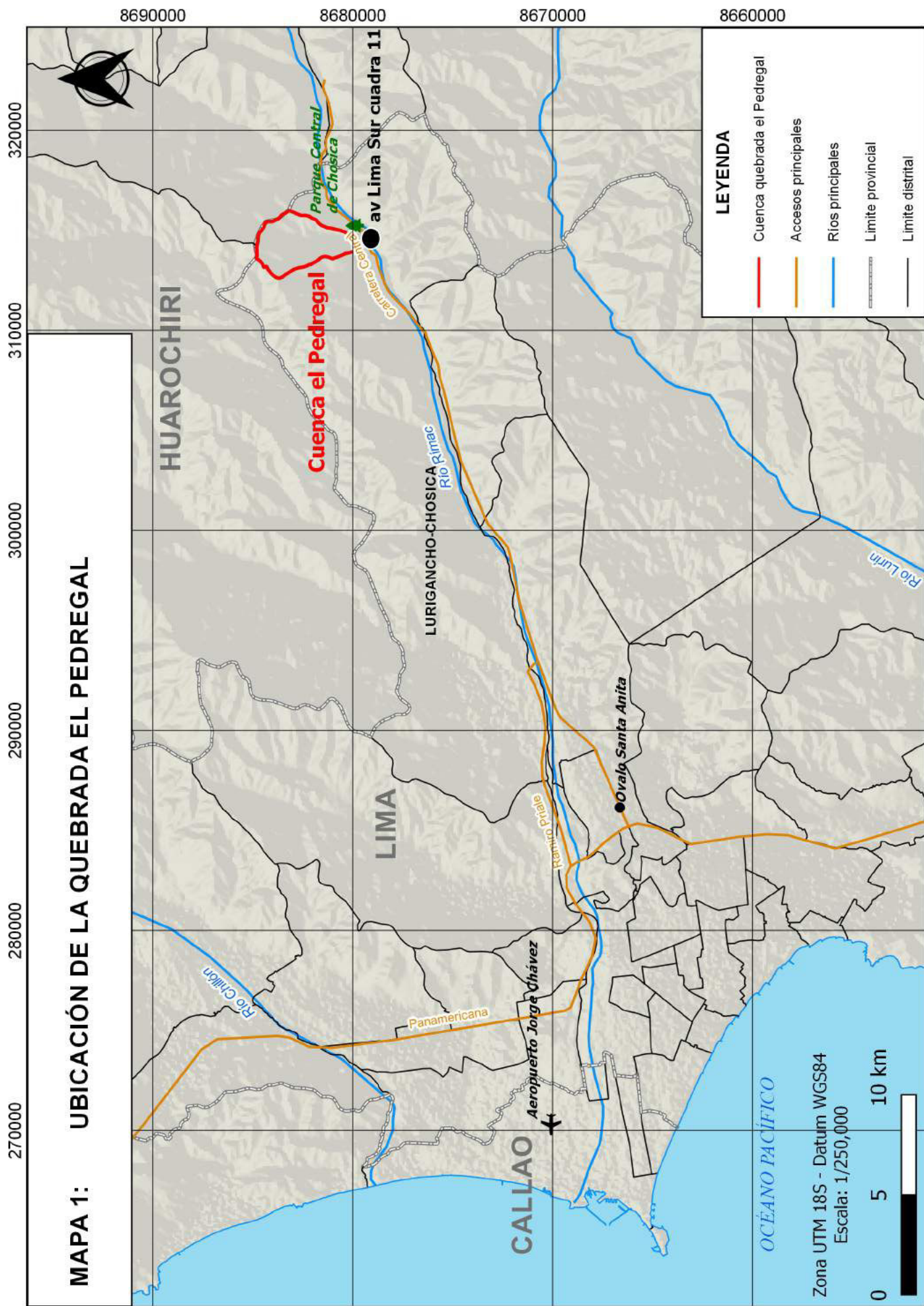
Descriptors: land use planning, gis programming, mathematics models, zoning, algorithm, environmental - territorial, geometric abstraction, object oriented programming, numerical methods, Lurigancho - Chosica, Pedregal

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Situación Problemática

El distrito de Lurigancho - Chosica, perteneciente al departamento de Lima, provincia de Lima, (ver Mapa 1) y con una población estimada hasta el 2015 de 218,976 habitantes (Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI, 2000), es un distrito que se encuentra rodeado por las cuencas de las quebradas el Pedregal, Santa María, Quirio, Libertad, Corrales, La Ronda, Mariscal Castilla, Santo Domingo, Cantuta, California y Carossio, todas ellas con una geodinámica propia de las quebradas como flujo de agua, erosión, meteorización, deslizamientos de tierra, caídas de rocas, y con una topografía que sumado a la precipitación determinan las características hidrodinámicas y paisajísticas que a su vez afectan a las poblaciones que asientan sus viviendas y sus actividades socioeconómicas sobre estas cuencas aledañas a la Carretera Central (Villacorta, Núñez, Huarez & Fidel, 2015). En dichas quebradas sucede cada verano la llegada de los deslizamientos y flujos de lodos y rocas conocidos como huaycos que si bien es un proceso natural, pone en riesgo a la población en mención. La necesidad de tener un espacio para establecer una vivienda o actividad económica sumada al desconocimiento o falta de prevención a la ocurrencia de dichos procesos geodinámicos naturales por parte de las autoridades o planificadores como la alcaldía distrital de Lurigancho-Chosica, la falta de un equipo profesional que pueda planificar y analizar bien el territorio del distrito y la falta de una buena y fluida coordinación con entidades gubernamentales del Estado Peruano como el Instituto de Defensa Civil (INDECI), el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), y por otro lado a la población que reside en estas cuencas por no organizarse antes de estas eventualidades.

MAPA 1: UBICACIÓN DE LA QUEBRADA EL PEDREGAL



Lo mencionado anteriormente pone en evidencia la carencia de una buena planificación y análisis territorial que como uno de sus resultados es el riesgo de la población del mencionado distrito

Como una herramienta a la planificación y análisis territorial se tienen a los Sistemas de Información Geográfica que utilizando programas tales como el ArcGIS (de la compañía ESRI) y el QGIS (software libre), y que mediante el uso de sus múltiples funcionalidades se tiene el análisis de la información de un territorio los cuales corresponde a la utilización de modelos matemáticos pero escritos en lenguaje de programación para que el usuario final de estos programas les sea más fácil el ingreso de la información y más comprensible la visualización de los resultados. Si bien, y como ya se ha dicho en este párrafo, existen programas con modelos matemáticos aplicados para el análisis del territorio, se hace necesario enfatizar que el usuario tenga un cierto grado de entendimiento del funcionamiento de estos modelos para que pueda entender cuál ha sido el método del procesamiento de información desde el ingreso de la información hasta la presentación de los resultados y sacar una conclusión de utilidad del modelo matemático o de alguna mejora al mismo aportando algo más desde su perspectiva y experiencia profesional.

También y como parte de la planificación y análisis territorial, hay que tener consideración en las partes y aspectos que conforman un territorio, un espacio geográfico y luego integrarlos para un análisis consistente ya que estas partes y aspectos se encuentran correlacionadas y se tendrá un resultado más compacto en el sentido que refleja lo más próximo de la realidad del territorio en estudio. Como se verán en los capítulos 2.3.3.1. (Aspectos topográficos de la cuenca en una Zonificación Ambiental Territorial), 2.3.3.2. (Aspectos sobre localidad y fragilidad del paisaje de la cuenca en una Zonificación Ambiental Territorial), 2.3.3.3. (Aspectos sobre la hidrografía de la cuenca en una Zonificación Ambiental Territorial) y 2.3.3.4. (Aspectos sobre la caracterización de localización de elementos existentes sobre una cuenca en una Zonificación Ambiental Territorial) en donde explican en cada de sus partes respectivas las propiedades de algunos de los múltiples aspectos que tiene una cuenca y su importancia de análisis que

pueden ser relevantes para una zonificación, en los apartes 2.3.4.12. (Descripción de los Modelos Matemáticos para la caracterización de la Topografía), 2.3.4.13. (Descripción del Modelo Matemático para la caracterización de la Cuenca Visual), 2.3.4.14. (Descripción del Modelo Matemático para la estimación del Thalweg de una cárcava o quebrada) y 2.3.4.15. (Caracterización de la dificultad de vías de acuerdo a la topografía) se menciona la modelización de estos aspectos para su uso de acuerdo al criterio del investigador. En ese aspecto radica la bondad de los modelos matemáticos: en resaltar y analizar las propiedades o alguna descripción en particular de una parte de la realidad para el análisis propio del investigador y eso queda remarcado en el aparte 2.2. (Antecedentes de investigación) donde se muestra una serie de trabajos que bien pueden ser útiles para la realización de una zonificación en base a modelos matemáticos.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles serían los resultados de proponer con modelos matemáticos una zonificación ambiental territorial en la cuenca de la quebrada el Pedregal, Lurigancho - Chosica, Lima?

1.2.2. Problemas específicos

1.2.2.1. ¿De qué manera la interpolación bicúbica remuestrea adecuadamente la altitud topográfica de una cuenca?

1.2.2.2. ¿De qué manera los modelos matemáticos describen adecuadamente las características topográficas de una cuenca?

1.3. Justificación teórica

La realidad de un espacio geográfico es representado o modelado en los Sistemas de Información Geográfica (una de las herramientas para la Zonificación Ecológica Económica y del Ordenamiento Territorial) para poder trabajarlos en un ambiente donde sea posible medir, comparar y analizar cada elemento de dicho espacio. Dicha representación está dividida en dos partes:

- a) Representación vectorial: que se encarga de modelar objetos que pueden ser identificables en el espacio geográfico y ser medibles como construcciones, cuerpos de agua, áreas delimitadas, entre otras;
- b) Representación raster: que es una representación pictórica (una imagen fotográfica por ejemplo) de un espacio geográfico.

Dichas representaciones son útiles para un trabajo de zonificación, pero se necesita de otro tipo de representación o metodología para poder modelar una realidad de una forma más sistémica, que permita caracterizar la realidad de un entorno geográfico por la integración de todos o parte de sus componentes o que de un solo objeto se le aplique una serie de metodologías (operaciones matemáticas) que permitan develar propiedades que a simple vista permanecen ocultas y pasadas de alto.

1.4. Justificación práctica

Teniendo en cuenta lo estipulado en el acápite 1.3. (Justificación teórica), se propone una tercera categoría en la representación o modelado de un espacio geográfico, el modelo matemático como descriptor las propiedades de elementos de una realidad. Algunos de dichos modelos matemáticos ya se encuentran usados, a manera de funciones, por herramientas (programas) de los Sistemas de Información Geográfica como el ArcGIS (de la compañía ESRI) como un módulo aparte que se compra por separado.

Aparte que existe un desconocimiento del proceso interno de estos modelos y solo se observa (o interesa) el resultado. Lo que pretenden también en esta tesis es ver cuáles es su justificación y funcionamiento matemático, y también en la opción, si se conoce cual es la estructura interna de cada modelo, proponer sus propias variantes o actualizaciones de los modelos para resaltar o atenuar alguna característica o simular procesos y ver los resultados de estas variantes de acuerdo a la experiencia del investigador. Con esto se da vida propia a la información alfanumérica, a la representación vectorial y raster que se utiliza en los trabajos de Zonificación Ecológica y Económica y los de Ordenamiento Territorial.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Proponer con modelos matemáticos una zonificación ambiental territorial en la cuenca de la quebrada el Pedregal, Lurigancho - Chosica, Lima.

1.5.2. Objetivos específicos

1.5.2.1. Remuestrear adecuadamente la altitud topográfica de una cuenca mediante la interpolación bicúbica.

1.5.2.2. Describir adecuadamente con modelos matemáticos las características topográficas de una cuenca.

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Filosófico o epistemológico de la investigación

La realidad de un espacio geográfico que se encuentra enmarcado en un periodo de tiempo está compuesta por objetos y fenómenos que pueden ser estudiados tanto de forma aislada (elemento) como en un conjunto (sistema). Para ello se hace necesario primeramente definir dicha realidad con sus objetos y fenómenos de acuerdo al estudio o necesidad de conocimiento que se requiera. Dicha definición puede cubrir tanto las propiedades innatas del objeto o fenómeno como también a algunos eventos que los mismos se les puedan aplicar, en esto se basa la Teoría o Programación orientada a Objetos, la cual entre otras cosas, busca en descomponer problemas u objetos (Izquierdo, 2007) para un análisis más profundo. De acuerdo con Joyanes Aguilar (1996) el desarrollo de programas orientados a objetos implica la creación de modelos del mundo real y la construcción de programas informáticos basados en esos modelos.

Una cuenca como tal es una realidad, un sistema con sus objetos y fenómenos (ver acápite 2.3.3. Determinación de una Zonificación Ambiental Territorial en una cuenca de quebrada) los cuales y gracias al enfoque de la Teoría o Programación orientada a Objetos busca caracterizar esta cuenca de acuerdo a las propiedades de los subsistemas que la conforman: topografía e hidrografía. Estas caracterizaciones ayudan a obtener más información sobre la cuenca, se obtiene información de propiedades que a simple vista no son tomadas en cuenta o pueden pasar por alto.

Para ello se hace necesario idealizar o modelar los elementos del espacio geográfico (ver acápite 2.3.4.2. Modelización de los elementos que componen una cuenca para un análisis estratégico y optimización de resultados), con el fin de poder representar la realidad de un espacio geográfico lo más fielmente posible. De acuerdo con ESRI ÷ (2016a), los objetos geográficos o superficies son representados o modelados

matemáticamente por vectores (ver acápite 2.3.4.3. Información vectorial) y raster (ver acápite 2.3.4.4. Información MDT - Raster) entre otros, sin embargo, se puede considerar una representación más: el modelo matemático que explica o caracteriza una realidad o parte de la realidad de un entorno geográfico. Siendo la representación vectorial y raster en parte numéricos, son propensos a ser utilizados como datos de entrada o variables de operaciones matemáticas, de modelos matemáticos.

2.2. Antecedentes de investigación

2.2.1. Castro Aragón, E. & Carrasco Villota, L. (2011). Utilización de modelos matemáticos para la formulación de una propuesta de gestión ambiental en la zona noroccidental del río Cali. País: Colombia.

El sistema de drenaje urbano de la Ciudad de Cali, está constituido por fuentes naturales y canales artificiales de diferentes secciones, formas y materiales que permiten evacuar, tanto las aguas lluvias como las residuales, procedentes de los diferentes usos del agua y actividades domésticas e industriales que se desarrollan en la ciudad.

La zona de estudio está comprendida entre la Clínica Los Remedios y la desembocadura del Río Cali al Río Cauca, la cual se ve afectada por crecientes atribuidas a las altas pendientes de la cuenca en su parte alta, a la pérdida de cobertura vegetal, a la invasión del río principal, generadas por el incremento de la población y las limitaciones del alcantarillado para transportar grandes volúmenes de agua.

El tránsito de caudales para los periodos de retorno analizados (5, 10, 20 y 50 años) se realizó con la información extraída de las tesis: 'Levantamiento topográfico y diseño de las obras de control de inundaciones del Río Cali en el sector norte de la ciudad' y 'Modelación Hidrodinámica del sistema de drenaje urbano de la ciudad de Cali en el área de influencia del Río Cali'.

utilizando los modelos matemáticos EPA SWMM 5.0 y HECRAS v3.1.3, para determinar las zonas de inundación.

La zona afectada, se identificó especialmente como el barrio Floralia lo que originó la propuesta de gestión ambiental para mitigar el impacto ambiental de las inundaciones donde se plantea en términos generales mejorar la capacidad y estabilidad del sistema de alcantarillado y ofrecer educación ambiental a los habitantes con el objeto de contribuir al bienestar de la población expuesta y reducir el riesgo por inundación.

2.2.2. Correa Muñoz, N. (2012). Método para la caracterización de las formas del terreno en zonas de montaña utilizando Modelos Digitales de Elevación. Caso: Departamento del Cauca. País: Colombia.

Se desarrolló un método para diferenciar, delimitar, caracterizar y representar cartográficamente las formas del terreno en zonas de montaña. Se evaluaron los DEMs SRTM de resoluciones espaciales aproximadas de 31 m y 92 m, y el DEM-ASTER de 31 m de resolución, este último en el área de estudio mostró datos locales erróneos por lo que el análisis de exactitud vertical con enfoque geoestadístico, comparación con curvas de nivel a 1:25000 y 1:10000 y puntos de control GPS indicó que el DEM-SRTM de 31 m, era el que mejor cumplía la tolerancia máxima de exactitud vertical. Se analizaron criterios y metodologías con sus algoritmos para extraer automáticamente las formas del terreno, desde la obtención de elementos básicos del terreno, el análisis del elemento en el contexto paisajístico, superposición de parámetros mediante álgebra de mapas y clasificación no supervisada mediante agrupación k-means; algunos implementados en software propietario y otros en software libre. Se calcularon parámetros del terreno locales y regionales, y se analizaron sus distribuciones de manera univariada y multivariada, esta última permitió seleccionar un conjunto de ellos con la menor redundancia para implementar un método de clasificación no supervisada. La clasificación no supervisada implementada en una zona centro oriental del departamento del Cauca, Colombia, permitió encontrar 12 clases de formas del terreno a partir de parámetros como el índice de convergencia, el índice topográfico de humedad, la profundidad de los valles,

la insolaci3n solar y la elevaci3n misma, con un coeficiente de similaridad kappa m3xima de 39%, valor bajo pero con un potencial alto para continuar con investigaciones adicionales, de acuerdo con resultados cualitativos encontrados al compararlos con el globo virtual Google Earth y con la leyenda geomorfol3gica del mapa de suelos oficial para el 3rea de estudio.

2.2.3. Domingos Da Silva, D. (2015). Estrategia para el dise2o de redes de drenaje pluvial, empleando la modelaci3n matem3tica, para su aplicaci3n en la ciudad de Luanda. Pa3s: Cuba.

La posibilidad de combinar los modelos digitales de elevaci3n de escalas adecuadas, obtenidos a partir de datos de diferentes fuentes, vinculados a los modelos de simulaci3n hidrol3gica ~ hidr3ulicos ante intensas lluvias, nos permite tener una mejor percepci3n de los escurrimientos y con eso dar una mejor respuesta a los dise2os de redes de drenaje pluvial en ambientes urbanos. En el presente trabajo se propone una estrategia para el dise2o de redes de drenaje pluvial a partir de la aplicaci3n de las herramientas de modelaci3n matem3tica para ser aplicada en la ciudad de Luanda, capital de la Rep3blica de Angola.

2.2.4. Gon3lvez Simbes, M. (1993). Modeladores digitais de terreno em sistemas de informa73o geogr3fica. Pa3s: Brasil.

Los Sistemas de Informaci3n Geogr3fica (SIGs) son sistemas que manipulan informaci3n cuya localizaci3n es un factor preponderante. Los Modelos Digitales de Terreno (MDTs) son responsables por la representaci3n de la distribuci3n espacial de grandes (3reas) que poseen variaci3n espacial continua, siendo, por tanto un componente importante de los SIGs.

Este trabajo pretende abordar el tema del modelado digital del terreno como parte integrante de un sistema de informaci3n geogr3fica. Los modelos digitales de terreno son analizados en t3rminos de dise2o, construcci3n y representaci3n. Son tambi3n muestras de la informaci3n que se puede generar y extraer a partir de estos modelos y como esta informaci3n es requerida por el SIGs, a trav3s de la descripci3n y ejemplo funcional.

Después de la etapa del conocimiento teórico y la construcción / representación de un MDT y especificando sus funciones, se sugiere la implementación de un modelador digital del terreno orientado a objetos, con el fin de promover una mejor integración de un sistema de modelado con un SIG.

2.2.5. López Fuentes, C. (2011). Análisis hidrológico en cuencas con información escasa. Pa's: México.

En este trabajo se propone una metodología para analizar la Hidrología de una cuenca que sólo cuenta con registros de altura de precipitación.

Los estudios hidrológicos implican recopilación de la mayor cantidad de información posible para simular las condiciones reales de la zona, y aún cuando es posible contar con la mayoría, la calidad de ésta no permite que pueda ser totalmente considerada para el análisis.

Un problema claro que se describe a continuación es la falta de información y la continuidad de ella, dado que se complica la toma de muestras en el mismo sitio durante un periodo de tiempo suficientemente largo y confiable. Cuando es necesario diseñar o revisar alguna obra, el inconveniente más común es definir una metodología que permita obtener los datos para diseñar; esto debido a la dificultad para la obtención de éstos y la urgencia.

Es sabido que los registros pluviográficos proporcionan información detallada de la distribución temporal de la lluvia; sin embargo, debido a la facilidad de operación es más común contar con registros de lluvias acumuladas (pluviómetros); y debido a las necesidades, esta información debe ser utilizada con el cuidado pertinente para tratar de obtener resultados confiables, es decir que representen los fenómenos naturales y que también predigan eventos a mediano y largo plazo.

2.2.6. Manchado del Val, C. (2015). Análisis de criterios de visibilidad e impacto visual. Metodología de uso en proyectos de infraestructuras. Pa's: España.

El paisaje es un elemento indispensable para la sociedad que lo percibe, y cualquier modificaci3n en el mismo afecta de manera directa a su identidad. La noci3n de paisaje como tal es un concepto arduo de definir, y puede recibir diversas interpretaciones seg3n el 3mbito de estudio (ecol3gico o cultural por ejemplo). En las 3ltimas d3cadas, el concepto de paisaje como recurso natural, valorable no solo en t3rminos visuales, sino tambi3n a trav3s de las actividades que puedan aprovecharlo, ha tomado una gran importancia social y econ3mica, apareciendo diversas leyes y regulaciones para su protecci3n a nivel internacional. En el entorno europeo surgi3 en el a3o 2000 el Convenio Europeo del Paisaje (CEP), un acuerdo internacional que trata de promover el papel que desempe2a el paisaje en los campos medioambiental, social y cultural y tambi3n en la actividad econ3mica. En el CEP, se entiende el paisaje como 'cualquier parte del territorio tal y como lo percibe la poblaci3n, cuyo car3cter sea el resultado de la acci3n e interacci3n de factores naturales y/o humanos'. Este documento aporta diversas novedades respecto a la concepci3n tradicional de paisaje: (i) se refiere a todo el territorio de forma global: no s3lo a aquellas zonas que tradicionalmente se han encontrado visualmente atractivas o excepcionales, sino que tambi3n incluye a los 'paisajes cotidianos o degradados', (ii) no s3lo se refiere a la fisonom3a del territorio, tal y como es percibido a trav3s de la vista, sino que abre la puerta a cualquier tipo de percepci3n o relaci3n entre la poblaci3n, protagonista ahora de esa definici3n, y el territorio que habita, y (iii) no s3lo se refiere a los paisajes naturales, sino que tiene en cuenta todos aquellos que han sufrido acci3n antr3pica, sin realizar ninguna separaci3n entre paisaje humano o cultural, y natural. Se trata de una definici3n abierta, basada en preocupaciones ambientales y culturales, y con vocaci3n social.

2.2.7. M3smela D3az, P. (2010). El paisaje como elemento de la ordenaci3n territorial. Un an3lisis de paisaje desde su enfoque visual en el borde centro oriental de Medell3n, Colombia. Pa3s: Colombia.

Esta investigaci3n es un ejercicio metodol3gico de un an3lisis de paisaje desde su enfoque visual, basado en los lineamientos establecidos por la normatividad espa2ola. Bajo esta metodolog3a se analiz3 y caracteriz3 y

evalúe la calidad visual del paisaje del borde urbano-rural centro-oriental de la ciudad de Medellín, un territorio de fuertes dinámicas urbanas, con un fondo escénico de importantes contrastes visuales y de amplia visibilidad. En una primera instancia se analizó el territorio a partir de los diferentes componentes de paisaje; en una segunda instancia se delimitaron los puntos de observación, las cuencas visuales y las unidades de paisajes; en una tercera instancia se evaluó y clasificó el territorio en función de su calidad visual por medio de tres metodologías complementarias entre sí: el método indirecto de valoración a través de categorías estéticas, el método directo de subjetividad representativa y la visibilidad. En última instancia se asignaron los objetivos de calidad los cuales buscan conservar, restaurar o mejorar la calidad visual del borde en estudio. Los resultados obtenidos ratifican la importancia del análisis del paisaje como elemento a tener en cuenta en la ordenación territorial.

2.2.8. Mateo Lizaro, M. (2010). Hidrología de crecidas en pequeñas y medianas cuencas. Aplicación con modelos digitales del terreno. País: España.

En este trabajo se aborda la adaptación de los modelos hidrológicos tradicionales a las nuevas tecnologías y a las fuentes de datos disponibles, para el estudio de la hidrología de crecidas en cuencas medianas y pequeñas.

Resulta de especial utilidad el uso de los modelos digitales del terreno (MDT) porque de ellos se desprenden gran parte de las características de las cuencas que son decisivas en la génesis de las crecidas. Para tal fin se ha puesto en marcha una aplicación informática que, a modo de sistema de información geográfica (SIG), permite el manejo y representación de modelos digitales del terreno, y combina diversas aplicaciones hidrológicas que reproducen episodios tanto reales como sintéticos.

Es de especial relevancia el tratamiento que se realiza con las coberturas existentes de precipitaciones máximas diarias y otras características de las lluvias, tanto desde un punto de vista teórico como práctico, materializado en

la aplicación informática que permite la simulación de episodios de tormenta sobre cualquier cuenca, con un amplio rango de variación de sus características, tanto de distribución espacial como de evolución temporal. En el caso de lluvias reales registradas en los pluviómetros de las cuencas, se han desarrollado técnicas para la obtención de coberturas que pretenden reproducir la distribución de la lluvia por toda la cuenca.

Se desarrolla una metodología que resulta idónea en la investigación de episodios reales, consistente en la aplicación de modelos de combinación de depósitos cuyos parámetros son ajustados mediante las curvas de recesión que presentan los hidrogramas reales. El modo de aplicar estos modelos aporta varias ventajas respecto a la forma tradicional: permite elaborar un balance hídrico de los episodios muy preciso; permite calibrar las condiciones de humedad de las cuencas partiendo de la cobertura existente de número de curva, característica decisiva en el fenómeno de las crecidas; permite observar, cuantificar y comparar la respuesta que dan los distintos reservorios de la cuenca a una determinada secuencia de precipitación. Estas características hacen de estos modelos que sean muy interesantes para el estudio tanto de las crecidas como de otras temáticas hidrológicas.

Mediante simulaciones de episodios sintéticos se realiza un estudio de variabilidad del fenómeno de crecidas que cuantifica y compara el comportamiento de las cuencas frente a cambios, tanto en el modo de producirse la precipitación como en las condiciones hidrológicas que pueden presentar las cuencas en distintas épocas. También mediante simulaciones, se realiza un seguimiento de la evolución de las crecidas en distintos puntos de la cuenca, aportando relevante información en la investigación de la aparición del fenómeno en las cuencas consideradas.

2.2.9. Mobayed Khodr, N. (2001). Modelo distribuido de lluvia - escorrentía basada en el manejo de variables geo-referenciadas y escalamiento fisiográfico de cuencas. País: México.

Se desarrolla un modelo hidrológico distribuido para cuencas, basado en principios físicos, que aprovecha la información de los modelos digitales de

elevación en formato reticular (raster) para identificar la red de drenaje y parteaguas de sus áreas de aportación. Los elementos cuadriculares se reconocen hacia aguas arriba y se enumeran ordenadamente para que los números mayores correspondan siempre a elementos precedentes, según el sentido del flujo. Esto permite hacer un agrupamiento secuencial de celdas, con cierta escala o área mínima, tal que cada grupo forme una microcuenca o celda geomorfológica por tramo de red.

Para generar hidrogramas de entrada, se plantean algoritmos basados en el método de los números de escurrimiento y en aproximaciones que tipifican el hietograma de intensidad de precipitación; para el tránsito de avenidas, se emplea una forma integral de solución a la ecuación hidráulica de convección - difusión. El resultado es una función tipo impulso - respuesta que depende de los coeficientes de celeridad y difusión y permite transitar directamente las avenidas por los cauces. También se modela el intercambio de flujo subsuperficial, especialmente en zonas de pie de monte donde la recarga favorece el almacenamiento, incrementa la carga piezométrica local e induce un mayor retorno del gasto base.

El modelo formulado (HIDRAS) puede simular el proceso lluvia - escorrentía con: varias tormentas, información de mapas temáticos (uso del suelo, edafología, geología) y la expresión de cauces y microcuencas de distinta magnitud. Las pruebas experimentales muestran que cualquier escalamiento basado en criterios fisiográficos, produce resultados similares entre escorrentía medida y calculada.

2.2.10. Porta Trinidad, J. (2013). Sistemas de información geográfica y algoritmos de optimización aplicados a problemas geoespaciales en la Administración de Tierras. País: España.

La tierra es un factor estratégico de suma importancia en el desarrollo de una determinada región. La tierra ha de ser considerada como un bien capaz de generar crecimiento económico y de la que hay que intentar sacar el máximo provecho. Esta tesis aplica las nuevas tecnologías a procesos de la

Administración de Tierras que hasta ahora o bien no se hacían, o bien se hacían de forma rudimentaria.

Uno de estos procesos es la ordenación territorial que, por su propia naturaleza, involucra gran cantidad de elementos con información geográfica (parcelas, edificaciones, entorno, ...) con los que se realizan operaciones espaciales computacionalmente muy costosas. Para estas tareas se han desarrollado algoritmos de búsqueda heurística que hacen uso de técnicas de computación de altas prestaciones para reducir tiempos de ejecución.

También se ha diseñado una arquitectura Web-SIG genérica pero fácilmente adaptable para la resolución de problemas concretos como pueden ser la dinamización de los mercados de tierras y la optimización de la gestión común de parcelas, dos aspectos importantes para el desarrollo rural.

Las soluciones desarrolladas hacen uso de estándares y herramientas libres para favorecer la compatibilidad entre sistemas, abaratar costes, promover el e-Government y seguir las directivas de la Unión Europea en temas de información geoespacial.

2.2.11. Ramírez Osorio, J. (2002). Extracción automática de redes de drenaje a partir de modelos digitales de terreno. País: Colombia.

La hidrología como ciencia y práctica, ha encontrado en los modelos digitales de terreno (MDT) una representación digital de la topografía que permite modelar la interacción entre la forma del terreno y sus procesos de transporte de agua y sedimentos. Esta interacción, y su relación inequívoca con la configuración de la red de drenaje, conforman el tema principal que se trata en este trabajo. El problema central que se resuelve es la estimación automática de la trayectoria del agua sobre la superficie del terreno y la configuración de la red de drenaje resultante. Para este fin se usaron tres aproximaciones fundamentales: la representación de la topografía mediante la estructura raster de un MDT, la suposición del modelo D8 de una única dirección de drenaje para cada celda, y la representación de la red de drenaje en una estructura de árbol binario. De esta manera, la estimación de

la red de drenaje se concentra en dos operaciones básicas: estimar en cada celda la dirección de máxima inclinación para asignar una dirección de drenaje, y ubicar las cabeceras de los canales en el terreno para estimar la configuración de la red de drenaje. Para cada una de las operaciones básicas se realizó una revisión del estado del arte en el tema y se hicieron aportes metodológicos propios. Estas metodologías fueron implementadas en una herramienta de software y fueron evaluadas en casos particulares de aplicación. Las innovaciones que se introducen en este trabajo son las siguientes: algoritmos nuevos para la asignación de direcciones de drenaje en sumideros y celdas de bifurcaciones; una metodología sencilla para la identificación automática de la red de drenaje en MDT usando criterios de convergencia del modelo D8; y una metodología para realizar estimaciones exactas de la red de drenaje para un MDT usando la información de sus líneas azules asociadas. Aunque gran parte de la motivación y del tratamiento que se hizo en este trabajo es a nivel teórico, su resultado final es puramente práctico. Se diseñó y construyó una herramienta funcional de software para la extracción y análisis automático de redes de drenaje a partir de modelos digitales de terreno. Esta herramienta se acopla al sistema de información geográfica HydroS IG Java, como una componente esencial de las metodologías para la estimación de variables hidrológicas.

2.2.12. Villegas Juárez, V. (2007). Identificación de conceptos geomorfológicos en modelos digitales de elevación. País: México.

En este trabajo se propone una metodología que permite identificar conceptos geomorfológicos en Modelos Digitales de Elevación (DEM), mediante el uso de un algoritmo que emplea técnicas de procesamiento de imágenes. Este trabajo se enfoca en las formas de la tierra, como el dominio del problema. La conceptualización ha sido creada a partir de definiciones obtenidas de fuentes como Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), el diccionario de la Real Academia de la lengua, glosarios especializados, entre otras. Se generan dos ontologías, la de aplicación que contiene la conceptualización de los resultados que arroja el algoritmo, es decir, las clases principales que obtenemos del análisis del

DEM y la de dominio que contiene cada uno de los conceptos de la conceptualización.

La metodología se compone de cinco etapas. La primera es la conceptualización, etapa en la que se recopilan las definiciones de los conceptos encontrados frecuentemente en un DEM. La segunda etapa consiste en generar las ontologías de aplicación y la de dominio; la primera se compone de tres niveles, esta ontología solo tiene elementos del tipo elevación, llanura y depresión. La de dominio consta de dos niveles y contiene los conceptos geomorfológicos. En la tercera etapa se realiza la segmentación del DEM, esta etapa se realiza el número necesario de veces hasta que se obtiene un objeto, para saber que tenemos un objeto, nos basamos en la firma que éste tiene. La firma se compone de una combinación de elementos del tipo elevación, llanura y depresión, los cuales provienen del resultado de la segmentación. Si obtenemos un segmento con las características de elevación, agregamos a su firma dicho elemento. Las firmas que comienzan con elevación, se componen de tres elementos mientras que las que comienzan con llanura o depresión solo tienen dos elementos. Posteriormente de acuerdo con la firma del objeto podemos clasificarlo haciendo uso de las ontologías, ya que los elementos del último nivel de cada ontología relacionado con uno del último nivel de la otra. La etapa final consiste en describir cada uno de los conceptos identificados en el DEM.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. El Ordenamiento Territorial en el Perú

2.3.1.1. Situación del Ordenamiento Territorial en el Perú

La Real Academia Española (RAE, 2014) define la palabra ordenamiento como la acción y efecto de ordenar. Proviene de la palabra orden que a su vez viene del latín ordo, que es la colocación de las cosas en su lugar

correspondiente. El término orden también se utiliza para nombrar la buena disposición de las cosas entre sí; otros usos del concepto refieren a la serie o sucesión de las cosas y a la relación de una cosa respecto a la otra.

De acuerdo al Ministerio del Ambiente (Resolución Ministerial N° 026-2010-MINAM, 2010 & Resolución Ministerial N° 135-2013-MINAM, 2013) el Ordenamiento Territorial es un proceso técnico, administrativo y político de toma de decisiones concertadas con actores sociales, económicos, políticos y técnicos para lograr una promoción-ocupación ordenada y el uso sostenible del territorio con el fin de garantizar un desarrollo equilibrado y en condiciones de sostenibilidad gestionando y minimizando los impactos negativos que podrían ocasionar las diversas actividades y procesos de desarrollo que existen en el territorio y así garantizando el derecho a gozar un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de vida e identificando las potencialidades y limitaciones del territorio considerando criterios ambientales, económicos, socioculturales, institucionales y geopolíticos.

De acuerdo al Consejo Nacional del Ambiente (Decreto del Consejo Directivo del CONAM N° 010-2006-CONAM-CD, 2006, Capítulo I, Párrafo 1.1), el Ordenamiento Territorial se define como el instrumento que forma parte de la política de Estado sobre el Desarrollo Sostenible por lo que es un proceso político en la medida que involucra la toma de decisiones concertadas de los actores sociales, económicos, políticos y técnicos para la ocupación ordenada del territorio.

Otro concepto de interés es el Ordenamiento Territorial Ambiental, que de acuerdo a la Presidencia del Consejo de Ministros (Decreto Supremo N° 008-2005-PCM, 2005) lo define como un instrumento que forma parte de la política de Ordenamiento Territorial siendo parte indisoluble del anterior (Decreto del Consejo Directivo del CONAM N° 010-2006-CONAM-CD, Aprueban la directiva 'Metodología para la Zonificación Ecológica y Económica'). Es un proceso técnico-político orientado a la definición de criterios e indicadores ambientales para la asignación de usos territoriales y la ocupación ordenada del territorio, siendo declarado de interés en todo el

pa's (Decreto Supremo N° 045-2001-PCM 'Constituyen la Comisi3n Nacional para el Ordenamiento Territorial Ambiental').

Actualmente el Ministerio del Ambiente viene impulsando el Ordenamiento Territorial en el Per3 porque existe la necesidad de que el conjunto de acciones e intervenciones que se desarrollan a lo largo del territorio nacional se realicen en condiciones de sostenibilidad y garantizando el bienestar com3n (Ministerio del Ambiente del Per3, 2014).

Para lograr un Ordenamiento Territorial existen varias herramientas como:

¿ Congreso de la Rep3blica del Per3: Ley N° 28245 (Ley marco del sistema nacional de gesti3n ambiental, 2004, Artículo 6, inciso h), habla sobre el establecimiento de, aparte de pol3ticas y directrices, criterios y metodolog3as como instrumentos de gesti3n y planificaci3n ambiental para el Ordenamiento Territorial Ambiental.

¿ Ministerio del Ambiente: Resoluci3n Ministerial N° 135-2013-MINAM, que define los Instrumentos T3cnicos Sustentatorios del Ordenamiento territorial, la metodolog3a para la elaboraci3n de los mencionados instrumentos t3cnicos, y los procedimientos para su validaci3n que considera la opini3n favorable del MINAM. Dichos Instrumentos T3cnicos son:

- a) Zonificaci3n Ecol3gica y Econ3mica (ZEE);
- b) Estudios Especializados (EE);
- c) Diagnostico Integrado del territorio (DIT);
- d) Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

En que se destaca la Zonificaci3n Ecol3gica y Econ3mica (ZEE) que a continuaci3n se detalla.

2.3.1.2. La Zonificaci3n Ecol3gica y Econ3mica (ZEE)

La Zonificaci3n consiste en la separaci3n y segregaci3n de un espacio con respecto a su entorno para analizarlo con un fin en particular (Ministerio

de Desarrollo Social de Chile, 2006). El propósito de la Zonificación es, teniendo un área de estudio (natural o cultural) subdividirla en zonas más pequeñas con criterios y metodologías determinados para alcanzar una meta y ver cómo interactúan dichas zonas más pequeñas entre ellas en una forma sistémica.

Si una de las metas es la evaluación de las potencialidades y limitaciones de un territorio con criterios físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales, entonces se podría hablar de una Zonificación Ecológica y Económica y se define como el proceso dinámico y flexible para la identificación de diferentes alternativas de uso sostenible (Presidencia del Consejo de Ministros, Decreto Supremo N° 087-2004-PCM, 2004, art. 1). La finalidad de la Zonificación Ecológica y Económica es la de orientar la toma de decisiones sobre los mejores usos del territorio, considerando las necesidades de la población que la habita y en armonía con el ambiente (Presidencia del Consejo de Ministros, Decreto Supremo N° 087-2004-PCM, art. 2), teniendo como uno de sus objetivos proveer el sustento técnico para la formulación de los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial en el ámbito nacional, regional y local (Presidencia del Consejo de Ministros, Decreto Supremo N° 087-2004-PCM, art. 3), y teniendo como enfoque en la flexibilidad, permitiendo su perfeccionamiento para los nuevos conocimientos científicos y tecnológicos (Presidencia del Consejo de Ministros, Decreto Supremo N° 087-2004-PCM, art. 6) para la ejecución de la Zonificación Ecológica y Económica.

La relación entre el Ordenamiento Territorial y la Zonificación Ecológica y Económica queda establecida por el Consejo Nacional del Ambiente (Decreto del Consejo Directivo del CONAM N° 010-2006-CONAM-CD, 2006, Capítulo I, Párrafo 1.1), menciona textualmente que:

En el Decreto Supremo N° 045-2001-PCM, se declara de interés nacional al Ordenamiento Territorial Ambiental sobre la base de la ZEE (Zonificación Ecológica y Económica), ya en el Decreto Supremo N° 087-2004-PCM, se establece que la Zonificación Ecológica y Económica - ZEE es un proceso participativo y concertado, dinámico y flexible para la identificación de

diferentes alternativas de uso sostenible de un territorio determinado en los diferentes ámbitos: nacional, regional y local, basado en la evaluación de sus potencialidades y limitaciones con criterios físicos, biológicos, ambientales, sociales, económicos y culturales. En este sentido, la ZEE:

¿ Es un proceso participativo y concertado, dinámico y flexible, que forma parte del ordenamiento y/o acondicionamiento territorial, respetuoso de los derechos colectivos de los pueblos indígenas, su territorio y su cultura;

¿ Es un instrumento que genera información sobre diversas alternativas de uso del territorio y de los recursos naturales; y es base para la formulación de políticas y planes de ordenamiento y/o acondicionamiento territorial, políticas y planes de desarrollo (nacional, regional, local y sectorial). _

Asimismo, el Consejo Nacional del Ambiente (Decreto del Consejo Directivo del CONAM N° 010-2006-CONAM-CD, 2006, ítem 2.3) habla sobre las etapas del procedimiento de la ZEE, que son cinco en total:

¿ Etapa inicial;

¿ Etapa de formulación;

¿ Etapa de aprobación;

¿ Etapa de aplicación, y

¿ Etapa de monitoreo, evaluación y actualización.

Donde en la etapa de formulación es donde se establece los objetivos, alcance y se diseña las hipótesis de trabajo, metodología de trabajo y se recoge, sistematiza y genera información.

2.3.1.3. Importancia del Ordenamiento Territorial como estrategia en la toma de decisiones

Santana Juárez (2004) nos menciona la importancia del Ordenamiento Territorial como una metodología que busca a largo plazo la configuración de la organización del espacio con la amplia intervención de la sociedad para

tener un enfoque integral del territorio a través del tiempo. Dichos enfoques (de acuerdo a la importancia) pueden ser:

¿ Económicos: puede interesarse solo en el aumento de la productividad y competitividad de las actividades;

¿ Ecológicos: pretende el desarrollo de un determinado territorio considerando siempre el uso sostenible de los recursos naturales con que se cuenta;

¿ Sociales: pretende mejorar las condiciones de vida de la población a través del ordenamiento territorial;

¿ Integral: como su nombre lo indica, busca el desarrollo integral del territorio con los enfoques Económicos, Ecológicos y Sociales. De acuerdo al acápite 2.3.1.2 anteriormente explicado, sobre la Zonificación Ecológica y Económica, esta misma encajaría en dicho enfoque.

Para cada uno de estos enfoques, y en cierta medida, se necesita, información que refleje la realidad del área sobre la cual se quiera establecer el Ordenamiento Territorial. Entre esta información se menciona a la Zonificación Ambiental que provee información sobre biofísica, socioeconómica, procesos participativos y criterios técnicos y legales (Domínguez, Velásquez, Jiménez, & Faustino, 2008).

A su vez, el Ordenamiento territorial es un proceso de estrategia y planificación con un carácter técnico y político ya que tiene como fin la configuración del territorio en estudio de acuerdo a su configuración (realidad territorial) actual y sus limitaciones y potencialidades (Massiris, 1993).

2.3.2. La Zonificación Ambiental Territorial

2.3.2.1. Aspectos teóricos de la Zonificación Ambiental Territorial

Si en una zonificación la meta que se desea alcanzar es de carácter ambiental, se estaría hablando de un Zonificación Ambiental y de acuerdo con SERCITEC & Geoingeniería (2002) y citado en www.monografias.com

(consultado el 08 de febrero de 2016) se entiende por Zonificación Ambiental como un diagnóstico de un área que busca comprender e interpretar los procesos ecológicos mediante la caracterización del medio físico, biótico y de la infraestructura. De acuerdo a la Fundación Mamaskato (2012), la Zonificación Ambiental es la base para determinar cómo se deben utilizar (de una manera óptima) los espacios que conforman un territorio para la toma de decisiones sobre qué actividades a realizar.

La Zonificación Ambiental es una herramienta importante para la planificación y el uso de los recursos naturales (Quintero Bertel & Pérez Cardozo, 2004) en un determinado territorio. También es una herramienta de diagnóstico ya que se propone investigar acerca de los componentes y factores que deben ser considerados a efectos de identificar la problemática de las zonas que pudiera estar compuesta un territorio con un enfoque ambiental con la posterior utilización de los resultados obtenidos para realizar el ordenamiento territorial. (Gaspar, García & Brie, 2014).

Teniendo el diagnóstico de un área con el enfoque ambiental (la Zonificación Ambiental), se decide en delimitar (zonificar) interiormente dicha área. A este proceso de delimitación es la Zonificación Territorial que determina (en base al diagnóstico de la Zonificación Ambiental) las zonas que está subdividido el área de estudio y así obtener la Zonificación Ambiental Territorial.

2.3.2.2. Importancia de la Zonificación Ambiental Territorial en el Ordenamiento Territorial

La importancia de una Zonificación Ambiental Territorial quedaría resumida en que permite subdividir territorialmente zonas de un área de estudio de acuerdo a un enfoque ambiental que incluye su problemática y potencialidad (conocida como vocación de uso mayor) para un uso o protección armónica con el medio ambiente y la población humana.

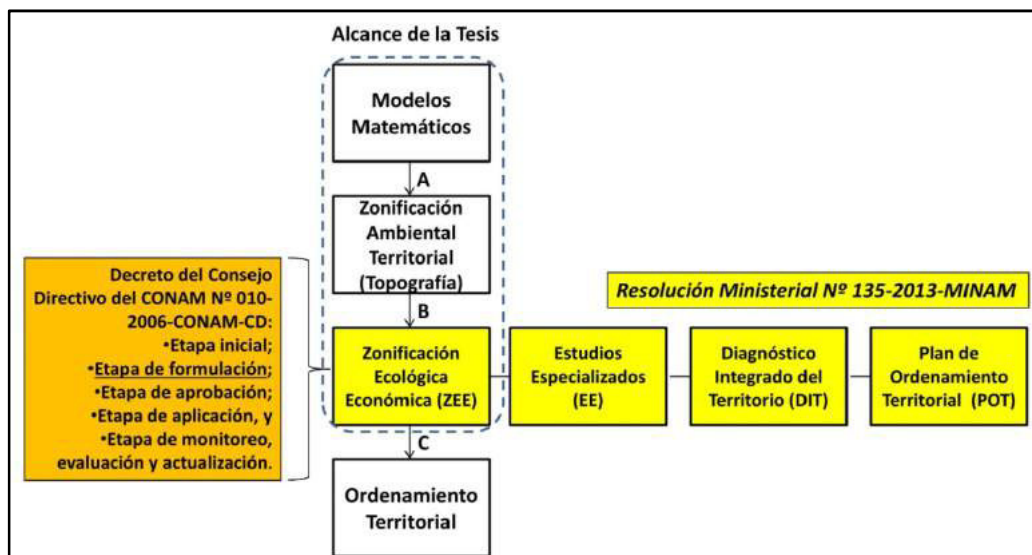


Figura 1. Alcance de la tesis.

Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo a la Figura 1, se presenta el alcance de la tesis: en A se muestra que los modelos matemáticos describirán la topografía, la estimación del thalweg de un flujo de agua o aluvional, cuenca visual y la dificultad de vías de la cuenca de la quebrada el Pedregal que origina una Zonificación Ambiental Territorial; luego en B habla sobre el contenido de la Zonificación Ambiental Territorial que sirve como insumo para elaborar una Zonificación Ecológica Económica - ZEE (uno de los cuatro instrumentos técnicos sustentatorios para el ordenamiento territorial de acuerdo a la resolución Ministerial N° 135-2013-MINAM) a nivel de Microzonificación en la cuenca de la quebrada el Pedregal en la etapa de formulación del mencionado ZEE (una de las cinco etapas de la ZEE de acuerdo al decreto del Consejo Directivo del Consejo Nacional del Ambiente, N° 010-2006-CONAM-CD). Finalmente en C indica que luego de completar en su totalidad la Zonificación Ecológica Económica (ZEE), este pasa ser una base para desarrollar el Ordenamiento Territorial de la cuenca de la quebrada el Pedregal.

2.3.3. Determinación de una Zonificación Ambiental Territorial en una cuenca de quebrada

Por cuenca se entiende como una zona de la superficie terrestre en donde (y en donde fuera impermeable) todas las gotas de lluvia caen y son drenadas (formando un flujo de agua) por el sistema de corrientes hacia el mismo punto. Toda cuenca está delimitada por la divisoria de aguas, que es la línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas sobre ella (Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental Ing. Oscar J. Maggiolo, 2010). Si la acción de drenar hacia un punto en común es intermitente, estamos hablando que es una cuenca de una quebrada (que es el flujo irregular o intermitente de agua). En la Figura 2 se muestra a grandes rasgos los componentes de una cuenca que integra elementos naturales como la hidrografía (representado en los ríos y quebradas), un área de pastoreo; y elementos culturales como un área urbana y accesos. En la misma Figura indicada se muestra que la cuenca está delimitada por la divisoria de aguas (compuesto por los puntos más altos del relieve topográfico).

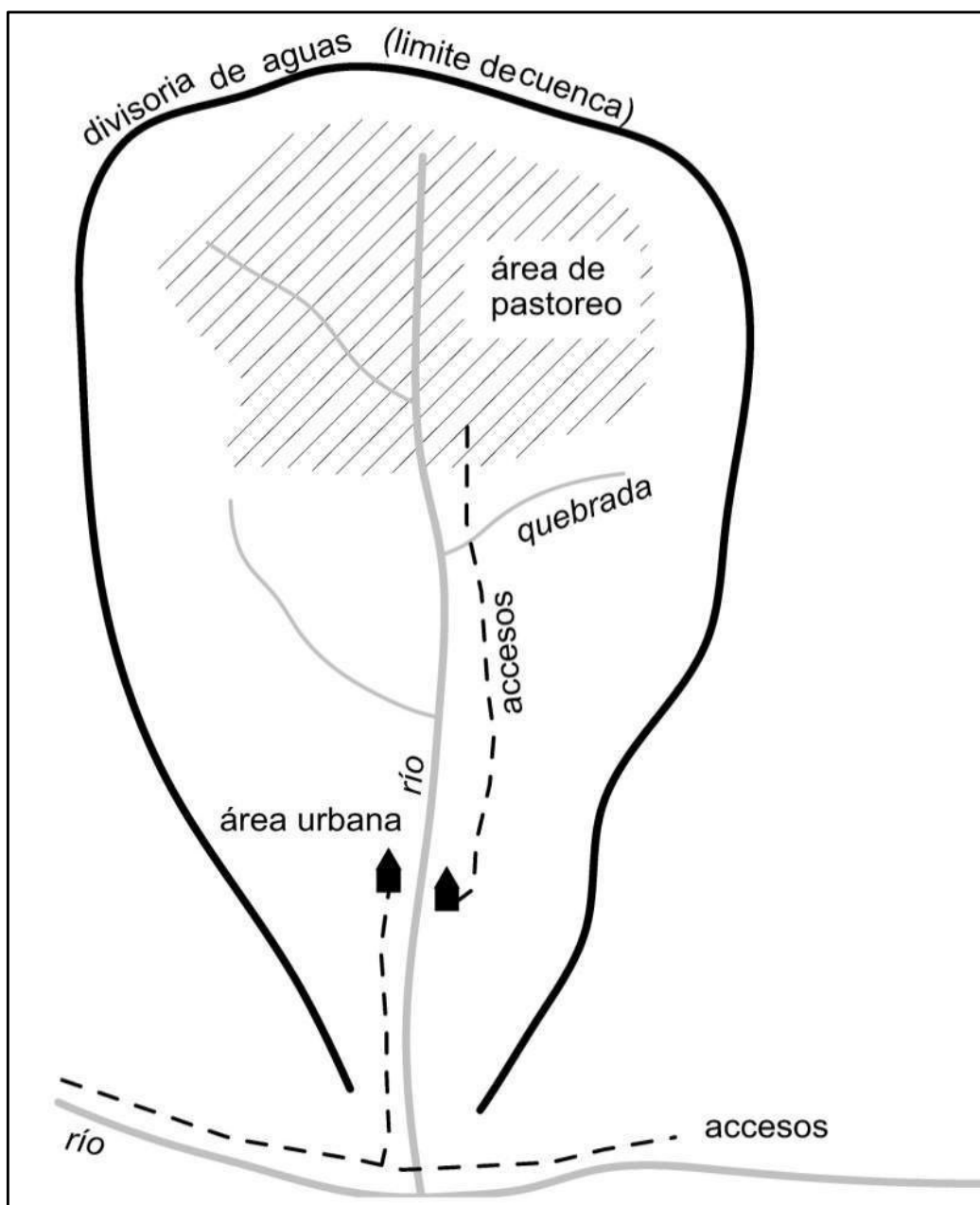


Figura 2. Esquema de una cuenca.

Fuente. Elaboración propia.

Si se define de una manera sistémica, una cuenca es una unidad estructurada y funcional donde se observa la relación de componentes físicos, bióticos y culturales (Brenes, Gallo & Rodríguez, 2000). Cabe resaltar que en las cuencas suceden procesos geodinámicos propios como precipitación, erosión, meteorización, entre otros que modifican la topografía donde yace la cuenca y entra en interacción con todos los objetos (áreas naturales y culturales) y procesos naturales que están presentes en el interior de la misma cuenca.

2.3.3.1. Aspectos topográficos de la cuenca en una Zonificación Ambiental Territorial

Definido lo que es una cuenca de una quebrada, se formula que aspectos tratar para formular una Zonificación Ambiental Territorial. Teniendo en cuenta que la cuenca yace sobre un área de la superficie terrestre, un aspecto es analizar cómo se encuentra dicha superficie, la Topografía de la cuenca. De acuerdo con Fuentes Delgado (2009) la representación de las formas de un terreno constituye en una de las disciplinas más importantes ya que su uso es vital para una serie de aplicaciones como el mapeo de suelos, la evaluación de tierras, la predicción de riesgos y diversas aplicaciones medio-ambientales.

Felicesimo (2001) habla de las variables para la caracterización de la topografía tales como:

¿ Pendiente: se define como declive (o diferencia) de altitud de un punto con respecto a otro punto, y esta expresado numéricamente en grados sexagesimales (ver Figura 3).

¿ Orientación: es la posición con respecto de un punto sobre la Topografía con el norte y expresado numéricamente en grados sexagesimales (ver Figura 3).

¿ Rugosidad o Textura: describe los cambios de Pendiente y Orientación sobre la Topografía (y por una unidad de distancia o área) y expresado como solo un valor numérico adimensional (ver Figura 3).

¿ Curvatura: que representa a la tasa de cambio de la pendiente por una distancia sobre la Topografía y expresado como solo un valor numérico adimensional (ver Figura 3).

Se podría indicar que la importancia de estas cuatro variables para una Zonificación Ambiental Territorial radica en (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Colombia, 2012 & Olaya Ferrero, 2014):

¿ La pendiente está muy relacionada con la aparición de movimientos en masa dado que es el principal factor geométrico que aparece en los análisis de estabilidad de estructuras y suelos e influye en la distribución del agua en laderas. También la longitud y la pendiente en laderas son factores determinantes de la erosión (Alba Alonso, S., Alcaraz Torralba, M., Cermeño Martin, F. & Barbero Abolafio, F., 2011) ya que conforme aumenta la longitud de la ladera, aumenta la superficie de escorrentía y, por tanto los caudales de agua se concentran y a la par la pendiente aumenta la velocidad del agua y por ende su acción erosiva.

¿ La orientación tiene relación directa con el comportamiento de los flujos sobre el terreno y sirve por tanto para el análisis hidrológico.

¿ La rugosidad o textura indica las características morfológicas del área de captación como el relieve o la topografía del terreno.

¿ La curvatura indica la efectividad de la topografía para concentrar o escurrir la mayor cantidad de agua de lluvia en un punto determinado de la ladera.

La Figura 3 explica que la topografía se encuentra dividida en cuatro variables que la describen: Pendiente, Orientación, Rugosidad y Curvatura. Se observa el rango de valores que se obtiene (columna valor) y una muestra de la topografía (columna muestra).

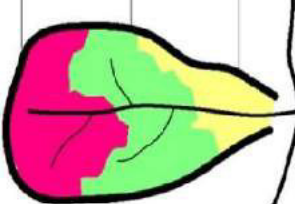

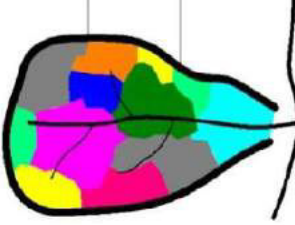




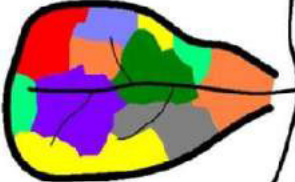



Pendiente			Rugosidad		
ejemplo	valor	muestra	ejemplo	valor	muestra
	20° a mas			mas rugoso	
	5° - 20°			menos rugoso	
	0° - 5°				
Orientación			Curvatura		
ejemplo	valor	muestra	ejemplo	valor	muestra
	<div> <div></div> Norte <div></div> Nor-Este <div></div> Este <div></div> Sur-Este <div></div> Sur <div></div> Sur-Oeste <div></div> Oeste <div></div> Nor-Oeste </div>			concavo	
				convexo	

Figura 3. Variables topográficas.

Fuente. Elaboración propia.

2.3.3.2. Aspectos sobre localidad y fragilidad del paisaje de la cuenca en una Zonificación Ambiental Territorial

Aguilera Alonso (1983) menciona que el Paisaje tiene un lugar preponderante para los estudios del medio físico para su planificación como en su función de soporte del ordenamiento territorial. El Paisaje tiene como cualidades la calidad y la fragilidad como parámetros para su evaluación. Una forma de medir dichas cualidades es mediante la calidad y fragilidad visual del paisaje en frente de obras hechas por el ser humano para tener un valor que logre caracterizar el Paisaje. Se requiere en ubicar los puntos de interés visual para una evaluación para saber los impactos que puedan producirse en el Paisaje y determinar el nivel de exposición visual desde los puntos donde se encuentran los habitantes de un determinado lugar y esto es cuantificado con el número de áreas visibles y no visibles (Masmela Díaz, 2010; Ortiz Hinojosa, 2012).

Tovar Sanz (1996) menciona que una forma de tomar medida de la calidad y fragilidad visual del Paisaje es mediante la Cuenca Visual definido como el conjunto de superficies o zonas (por ende, toma como insumo a la información topográfica) que son vistas desde un punto de observación y determinar qué zonas son impactadas visualmente por una determinada actividad (ver Figura 4).

Una aplicación de los resultados sería la arborización de áreas como barreras ecológicas para evitar el contacto visual de ciertas actividades humanas (Manchado del Val, 2015).

2.3.3.3. Aspectos sobre la hidrografía de la cuenca en una Zonificación Ambiental Territorial

Como quedo establecido en el acápite 2.3.3.1 (Aspectos topográficos de la cuenca en una Zonificación Ambiental Territorial), la caracterización de la Topografía con sus variables como la Orientación y Curvatura, da una idea de la red hidrológica presente en una cuenca (ver Figura 4). La hidrografía es un factor físico que describe la corteza terrestre, define el área de captación de la cuenca y su red de drenaje (Torres Muñoz, 1998).

Varios autores señalan que otra relevancia de estudiar la red hidrográfica (comprendido por los *thalweg* y los canales de cárcavas y quebradas) es en determinar el posible flujo continuo de agua o de lodo para determinar zonas propensas a inundación ante una eventual precipitación mayor a las registradas.

2.3.3.4. Aspectos sobre la caracterización de localización de elementos existentes sobre una cuenca en una Zonificación Ambiental Territorial.

Bosque Sendra y Moreno Jiménez (2004) mencionan sobre la cuestión de la localización de las actividades humanas (y también se aplica para el caso de fenómenos naturales) se encuentra estrechamente con uno de los temas más relevantes que han preocupado a la Geografía: la organización espacial del territorio. De este modo varias escuelas de pensamiento geográfico (como la Geografía regional francesa, la Geografía cuantitativa) se han especializado en la problemática de describir y explicar la forma como se organizan los hechos (físicos y humanos) sobre la superficie terrestre y que han tratado y desarrollado conceptos, métodos e instrumentos para describir y explicar la localización de las actividades humanas sobre el territorio (ver Figura 4).

La Figura 4 explica que la cuenca visual determina la exposición de una actividad o área de interés con respecto de un punto (que en la Figura es el área urbana), se observa que existe contacto visual con el 'área de interés 2', por el otro lado, no lo existe con el 'área de interés 1' por estar una colina en la línea visual. La hidrografía o la red hidrográfica vendrá a ser una consecuencia, entre otras, de la topografía y sus variables como la pendiente y orientación configurando dicha red. La caracterización de localización trata sobre la ubicación espacial de entidades que existen y están en relación en una cuenca y en este caso con la topografía y la red hidrográfica y entre áreas (por medio de accesos).

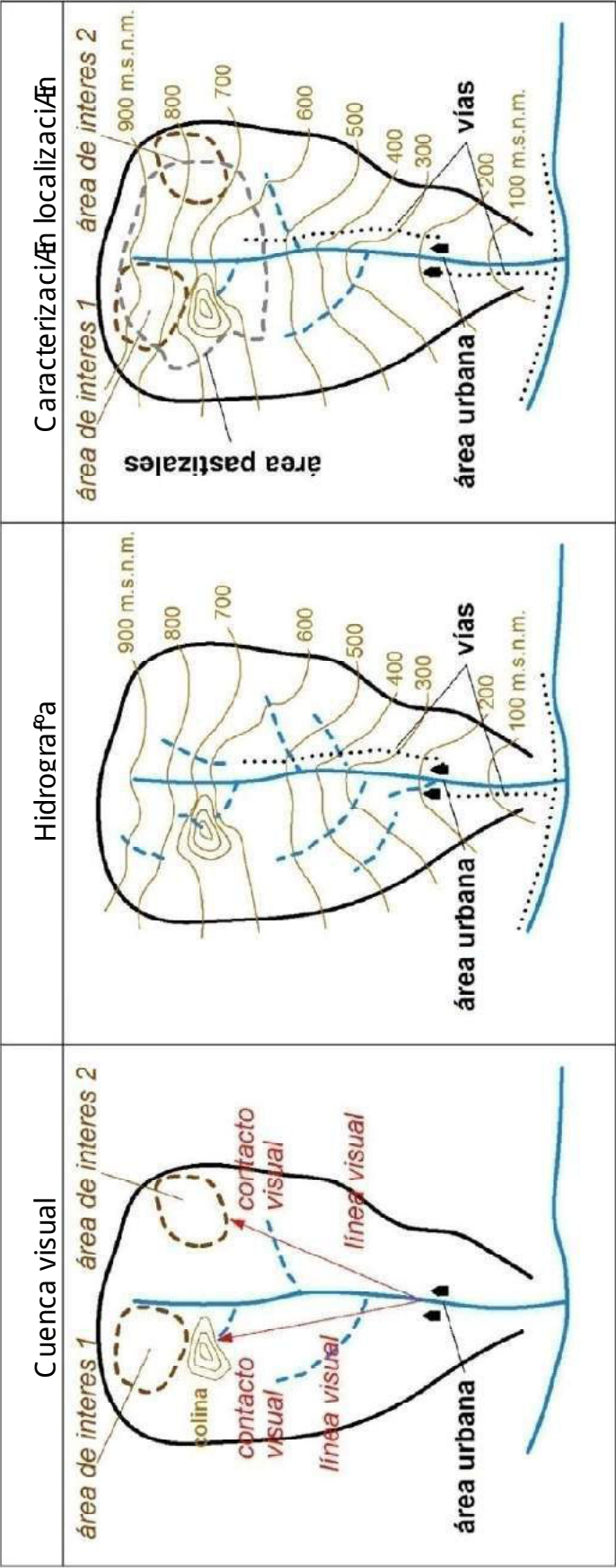


Figura 4. Criterios para la cuenca visual, hidrografía y caracterización de la localización.
Fuente. Elaboración propia.

2.3.4. Los Modelos Matemáticos y la simulación de procesos y de características como metodologías para una Zonificación Ambiental Territorial

2.3.4.1. Sistemas, modelos y simulación

Como se ha explicado anteriormente, una cuenca es un sistema estructurado y funcional donde se observa la relación de componentes físicos, biológicos y culturales. Pero, dentro de este sistema existen objetos que son propios como un río, la topografía, el establecimiento de áreas naturales y culturales, y fenómenos que ocurren como la precipitación. Este sistema con sus variables está enmarcado en una situación particular o temporalmente definido como estado, donde dichas variables varían en el transcurso del tiempo como también dan diferentes resultados en el mismo intervalo (Berger, Gambini & Velásquez, 2000).

Para un mejor estudio y análisis de este sistema, se hace necesario de metodologías que traten explicar lo que ocurre dentro y fuera del mencionado sistema y en qué condiciones ocurre.

Para ello, se recurre en idealizar o abstraer el sistema, o parte de él, en un determinado estado para un determinado fin. Esta idealización se denomina como modelo, que de acuerdo con De la Torre Escudero (S.F.), es definido como una abstracción (o una idealización) teórica del mundo real (o una parte de la misma) que tiene dos utilidades fundamentales:

¿ Reducir la complejidad, permitiendo ver las características importantes que están detrás de un proceso, ignorando detalles de menor importancia que harían el análisis innecesariamente laborioso (Implica un enfoque de solamente un o unos detalles de un objetivo a estudiar);

¿ Hacer predicciones concretas, que se puedan falsear mediante experimentos u observaciones. De esta forma, los modelos dirigen los estudios empíricos en una u otra dirección, al sugerir que información es más importante conseguir.

La misma autora hace recordar que los modelos no proporcionan una informaci3n directa de lo que est4 ocurriendo realmente en el mundo real, entonces se hace necesario que las predicciones del modelo deben ser validadas o refutadas por los resultados emp3ricos (o al menos de otros resultados de otros modelos para su comparaci3n y an4lisis).

Existen varios tipos de modelos a saber (Hern4ndez Coca, 2011):

¿ Modelo Ic3nico: es una representaci3n f3sica de algunos objetos, en forma idealizada como maquetas y mapas (ver Figura 5, parte a donde se observa el mapa del Per3);

¿ Modelo Anal3tico: puede representar situaciones din4micas o c3clicas, son m4s usuales y pueden representar las caracter3sticas y propiedades del acontecimiento que se estudia como curvas de demanda y diagramas de flujo, entre otros (ver Figura 5, parte b donde se observa una red que une ciudades);

¿ Modelo Matem3tico: de acuerdo con Rodr3guez Vel4zquez y Steegmann Pascual (2002) el modelo matem3tico es una abstracci3n o descripci3n, usando el lenguaje matem3tico, de un objeto que existe en un universo no matem3tico que vendr4a ser el mundo real (ver Figura 5, parte c donde se observa una ecuaci3n que representa la relaci3n de la precipitaci3n y la altitud).

Los mismos autores se4alan que en t3rminos generales, en todo modelo matem3tico se puede determinar tres fases:

¿ Construcci3n del modelo, que es la transformaci3n del objeto no matem3tico en lenguaje matem3tico;

¿ An4lisis del modelo, que es el estudio del modelo matem3tico;

¿ Interpretaci3n del an4lisis matem3tico, aplicaci3n de los resultados del estudio matem3tico al objeto inicial no-matem3tico.

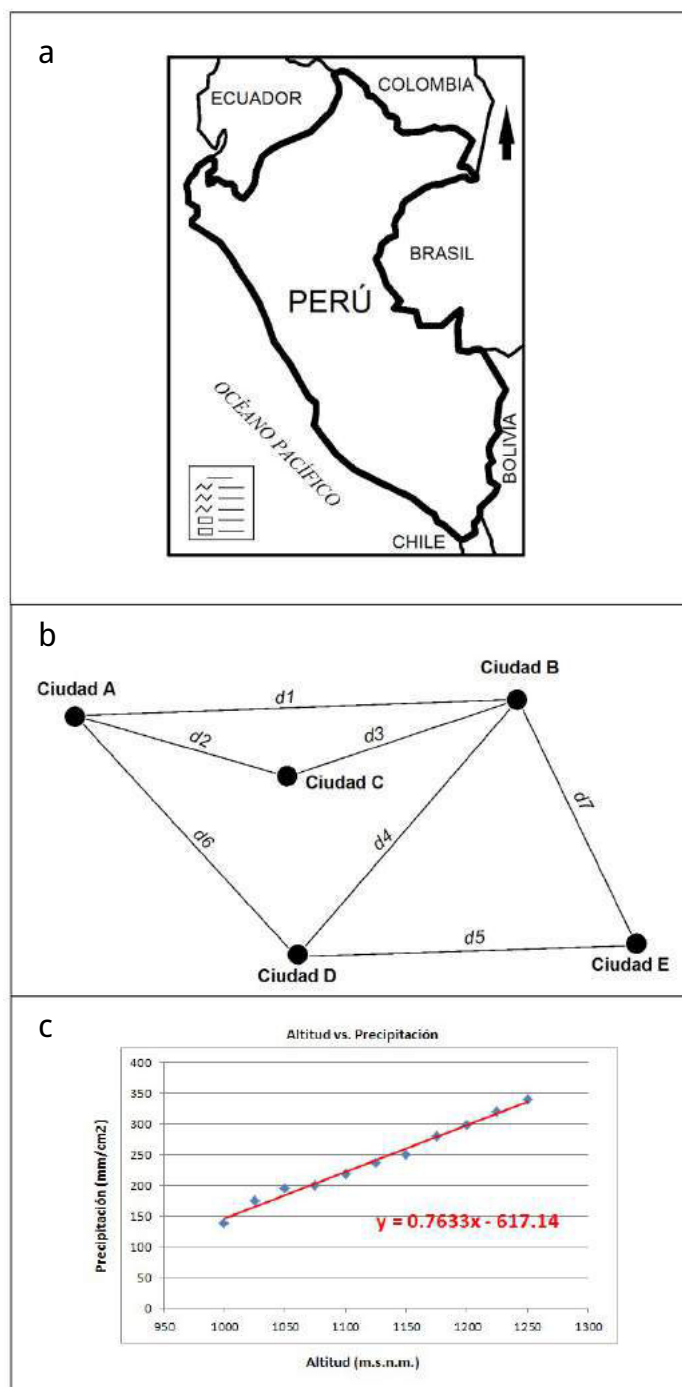


Figura 5. Tipos de modelos.

Fuente. Elaboración propia.

Los mismos autores señalan que el éxito o fracaso de estos modelos es un reflejo de la precisión con que dicho modelo matemático representa al objeto inicial y no de la exactitud que las matemáticas analizan el modelo (es muy importante modelar matemáticamente dichos objetos para que representen fielmente los componentes del mundo real que se trata de representar).

A su vez, estos modelos matemáticos se pueden subdividir en (Laboratorio de Modelización de la Universidad de Murcia, 2015):

¿ Por el resultado que se obtiene al final:

a) Estocásticos: sin importar las variables que se ingresen al modelo, no hay cierta precisión en el resultado que se obtiene. Por ejemplo, el flujo o ruta que puede seguir una gota de agua sobre un terreno.

b) Determinístico: sin importar las variables que se ingresen al modelo, hay cierta precisión en el resultado que se obtiene. También es llamado Probabilístico. Por ejemplo, el cálculo de las características de la Topografía como pendiente, textura, orientación y rugosidad.

¿ Si el tiempo en que se entra las variables influye en el resultado:

a) Dinámico: si el tiempo es una variable en consideración. Por ejemplo, la precipitación es variable en un intervalo de tiempo.

b) Estático: si el tiempo no es una variable en consideración. Por ejemplo, la determinación de la cuenca visual de una quebrada.

¿ Si se desea como es la evolución de las variables o resultados durante el proceso de cálculo:

a) Discreto: si solo es de interés saber cuál es el resultado final.

b) Continuo: si es de interés cual es el valor de las variables en cada momento o en un momento en especial del cálculo.

El modelo matemático, como ya fue mencionado, es una descripción usando las matemáticas en un sistema, o parte de la realidad. Usa ecuaciones, funciones, variables que simulan procesos. Esta simulación es la que permite experimentar o emular el sistema haciéndolo pasar por escenarios por medio de los modelos (los modelos son los instrumentos que la simulación usa para emular o experimentar en un sistema o parte del mismo en un determinado estado). La simulación construye un historial de los estados del sistema de acuerdo a los valores que en el tiempo toman las variables de estado (gracias a la simulación, se puede determinar cuál fue el valor de un estado en un determinado tiempo o estadio, Berger et al, 2000). La simulación puede ser utilizada cuando:

- ¿ Se desea conocer un sistema cuyo comportamiento se desconoce;
- ¿ Se requiera estudiar las relaciones más trascendentes entre los componentes de un sistema complejo;
- ¿ Es de interés buscar una solución aproximada a un problema cuya solución no ha sido factible de determinar por otros métodos;
- ¿ Es necesario estudiar los efectos de cambios en el medio ambiente del sistema y en el interior del sistema;
- ¿ Se requiera determinar cuáles son las variables más importantes en un sistema, y
- ¿ Se quiera verificar soluciones analíticas.

Como resumen de lo anterior, gracias a la simulación el investigador puede manipular el sistema o parte de él representado en un modelo y observar que sucede si se manipulan variables de entrada o condiciones de funcionamiento de dicho modelo y analizar los resultados obtenidos de dicha manipulación.

En la Figura 6 se muestra como se puede analizar la cuenca como un sistema y disgregarla en modelos para un mejor estudio.

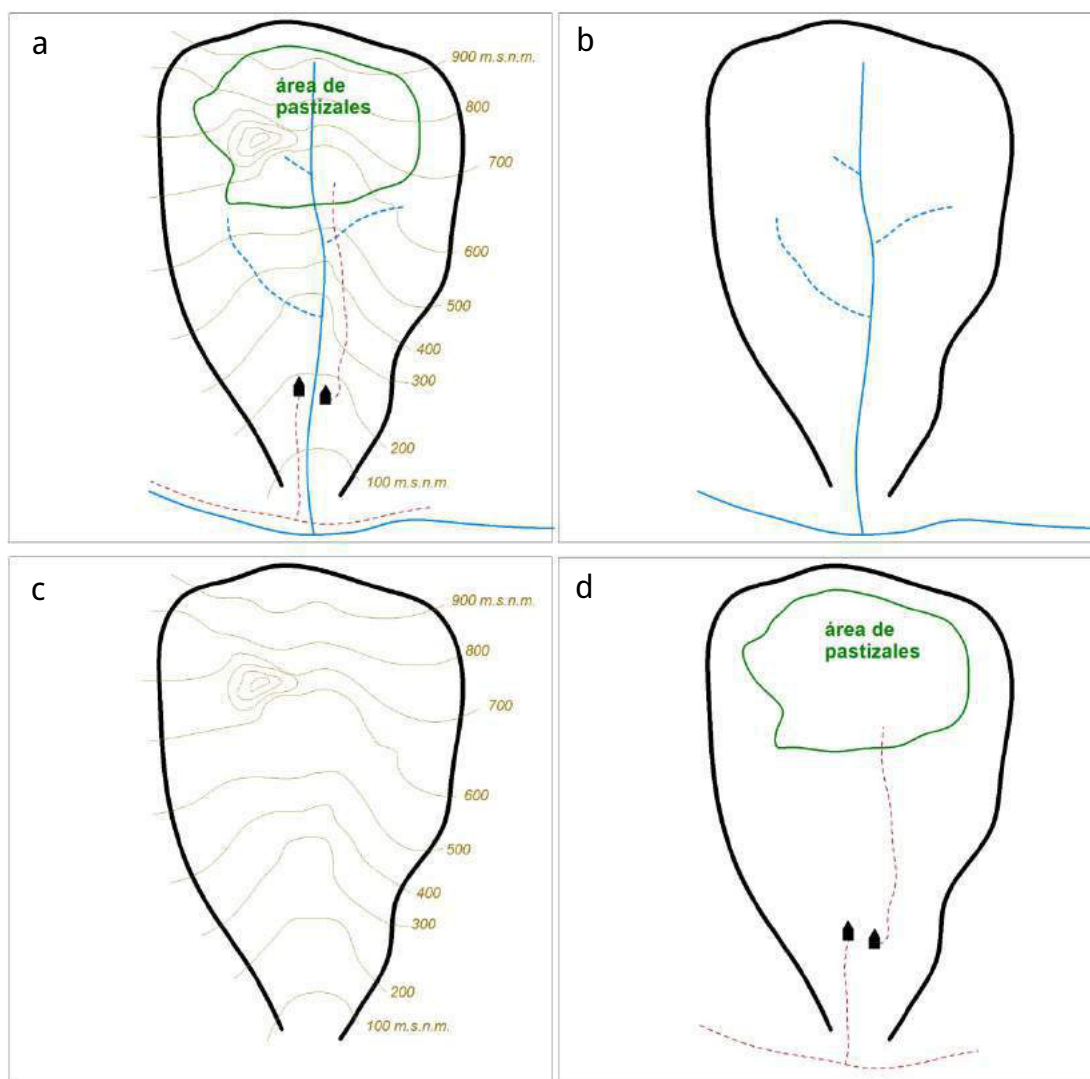


Figura 6. Moldeamiento del sistema cuenca.

Fuente. Elaboración propia.

En la Figura 6, en la parte 'a_' se observa una cuenca que es definida como un sistema integral en un determinado estado la cual esta parametrizado temporalmente (días, años, entre otros) y caracterizado por variables que pueden ser subsistemas, de los cuales en la parte 'b_' se observa de forma aislada el subsistema hidrológico, en la parte 'c_' el subsistema topográfico y en la parte 'd_' subsistema de áreas naturales y culturales. Estos sistemas y otros (como el subsistema cuenca visual) pueden ser modelados y simular acciones para ver sus características y comportamientos en diferentes situaciones.

En la Figura 7 se observa un ejemplo de un modelo matemático representado por la ecuación $y = 0.7633x - 617.14$ la cual trata de explicar la relación de la Altitud con la Precipitación de un determinado lugar. La tabla observada en el lado derecho se hace la simulación escribiendo la Altitud en la ecuación mencionada como valor 'x', obteniéndose como resultado la precipitación (el valor 'y' en la ecuación).

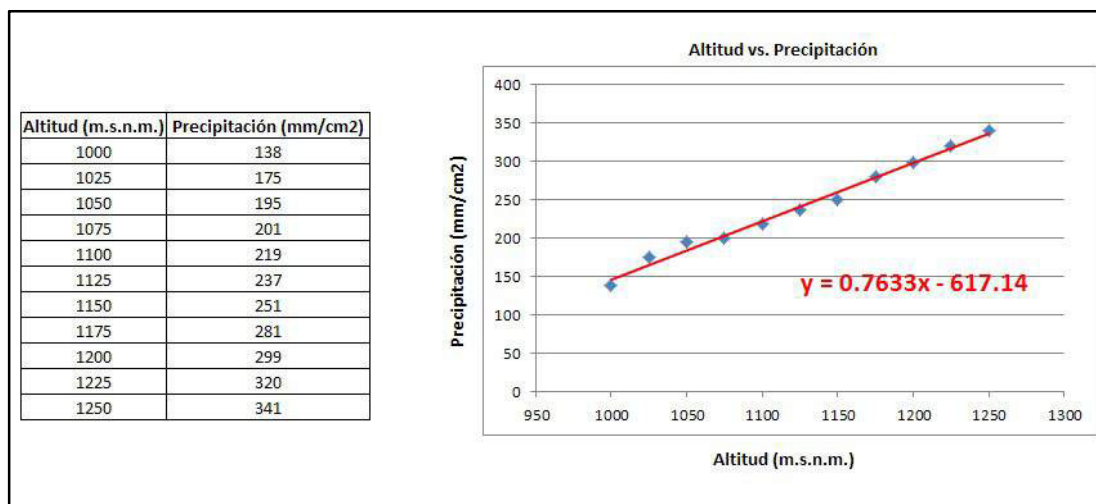


Figura 7. Ejemplo de un modelo matemático.

Fuente. Elaboración propia.

2.3.4.2. Modelización de los elementos que componen una cuenca para un análisis estratégico y optimización de resultados

Para obtener una optimización de una Zonificación Ambiental Territorial que sirva como insumo de un Ordenamiento Territorial, se propone un flujo de trabajo que implique una modelización de la información de entrada conformada por:

- ¿ Información topográfica (acápites 2.3.4.4. Información MDT - Raster);
- ¿ Información de las vías (acápites 2.3.4.3. Información vectorial), y
- ¿ Entrada de coordenadas (criterio del investigador).

Además se sistematizará los modelos matemáticos propuestos para obtener una Zonificación Ambiental Territorial y además de un mapa geomorfológico como un producto derivado (Figura 8).

La Figura 8 (parte superior) muestra cuatro etapas de la sistematización del modelamiento de la información:

A) Entrada de datos: en realidad, la entrada de datos no solo se da al principio de esta sistematización, se da también en las demás etapas posteriores a criterio del investigador. Al principio se requiere la información topográfica más la información de vías además del área de la cuenca de la quebrada el Pedregal y el área del huayco del 1987 (O'Connor, 1988) y luego del proceso interno se requerirá que el investigador, a su criterio, seleccione algunos puntos para la determinación de puntos para el análisis de la estimación del thalweg (flujo de agua y lodo).

B) Procesamiento de datos: La información topográfica es procesada para obtener subproductos como la pendiente, orientación, curvatura, rugosidad y la cuenca visual. Utilizando la topografía y las vías se obtiene la caracterización de la dificultad de vías. El investigador con los resultados de la curvatura y la rugosidad determina cuáles serían los puntos para el análisis de la estimación del thalweg (flujo de agua y lodo).

C) Análisis de los criterios y/o parámetros para la zonificación: en este proceso se determina en forma automatizada las áreas propuestas para la Zonificación Ambiental Territorial en base a criterios y/o parámetros. Todo este proceso está también bajo la observación del investigador sobre todo para la caracterización de la dificultad de vías y la estimación del talweg (flujo de agua y lodo). Para más detalle ver el Anexo III, apéndice O. (Algoritmo para el análisis de criterios y/o parámetros para la zonificación).

D) Presentación de resultados: en esta etapa se tiene los dos productos a conseguir: el mapa de la propuesta de Zonificación Ambiental Territorial y el mapa geomorfológico, previa revisión del investigador.

En la misma Figura 8 (parte inferior) se observa un gráfico de un entorno o espacio con el enfoque de sistemas donde la etapa A (Entrada de datos) es el insumo requerido para ser analizado en las etapas B y C en el proceso y que da un producto en la etapa D para que a su vez sea retroalimentado en el mismo sistema o sea el insumo de otro sistema conexo. Esto explica lo dicho al principio del presente apéndice, que la Zonificación Ambiental Territorial propuesta sea un insumo para un Ordenamiento Territorial.

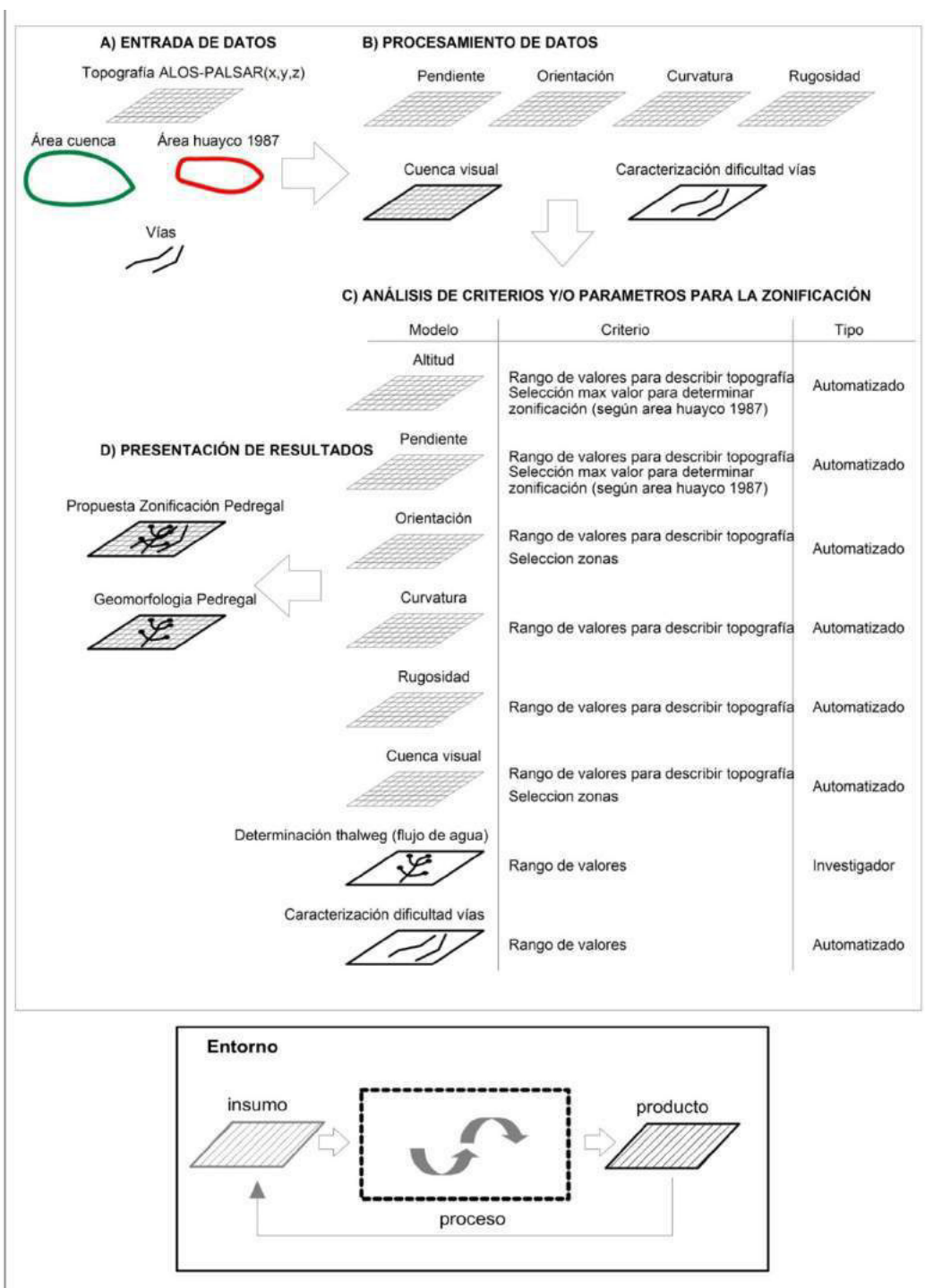


Figura 8. Sistematización del modelamiento de la información (superior) y gráfico que un entorno / espacio bajo el enfoque del sistemas. Fuente. Elaboración propia.

2.3.4.3. Información vectorial

Es la información que utiliza representaciones geométricas o vectoriales para representar una parte de un entorno geográfico y son conocidos por ser datos de tipo discreto porque tiene límites y dimensiones definibles y se sabe en donde comienza (ESRI, 2016a) y en donde termina además que un dato discreto no tiene un número infinito de valores entre sus límites (Mazurek, 2010).

La información vectorial busca, de una manera, que los objetos que existen o fenómenos que suceden en una cuenca puedan ser representados de una manera geométrica para luego ser utilizados como datos geográficos para su posterior análisis. Siendo objetos y fenómenos sobre una porción de la superficie terrestre, espacio geográfico (una cuenca en este caso), son llamados también variables o datos geográficos. Estas representaciones conceptuales de datos geoespaciales dependen de factores como escala, sistema de referencia para la elección de uso (Moreno Ibarra, 2007). Dichos datos geográficos son representados de la siguiente forma:

¿ Punto: que representa la ubicación de entidades cuya forma no es considerada relevante o la superficie que ocupan es pequeña con relación al área circundante. Por ejemplo, un punto puede representar un poste de alumbrado público a una escala de representación mayor, como también un Punto puede representar una ciudad entera a una escala de representación menor.

¿ Línea: se usan para representar entidades con forma de redes o grafos. Comúnmente se define también como una sucesión infinita de Puntos. Por ejemplo, una línea puede representar una carretera a una escala de representación menor. El conjunto de líneas conectadas de forma consecutivas (el vértice final de una línea coincide con el vértice inicial de la línea que le continua) se denomina polilínea.

¿ Superficie: representan entidades con un área estimable. Por ejemplo, una superficie o polígono puede representar el área de una ciudad a una escala

de representación mayor, y la misma ciudad a una escala de representación menor puede ser descrita como un Punto.

En la Figura 9 se muestra un ejemplo de la representación de los datos geoespaciales. Para el caso de la Ciudad de Lima, para una escala de representación menor queda dibujado como un punto rojo, pero para una escala de representación mayor se utiliza una superficie que muestra su contorno. Para el caso de la Carretera Panamericana a una escala menor se representa como una línea (o polilínea al ser una sucesión de líneas contiguas) pero a una escala mayor se puede representar como una superficie. Estas escalas de representación están en función al tipo de análisis que se desea realizar. Si se desea un análisis de solo ubicación de manera general, la Ciudad de Lima puede ser representada como un punto, pero si se quiere un análisis más completo y detallado de lo que ocurre dentro de la mencionada ciudad, se utilizara una escala mayor (y el uso de una superficie para representar a la ciudad).




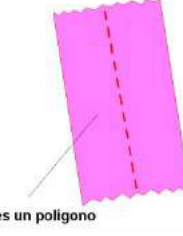
Dato Geoespacial	Escala de Representación	
	menor	mayor
Ciudad de Lima	 es un punto	 es un polígono
Carretera Panamericana	 es una línea (polilínea)	 es un polígono

Figura 9. Ejemplo del uso de geometrías en función a la Escala de Representación.

Fuente. Elaboración propia.

Es bueno señalar que la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) contempla la escala en sus estudios. De acuerdo a la Presidencia del Consejo de Ministros (Decreto Supremo N° 087-2004-PCM, 2004, art. 4) y al Consejo Nacional del Ambiente (Decreto del Consejo Directivo N° 010-2006-CONAM-CD, 2006 Capítulo I, ítem 2.2) mencionan que los estudios y procesos de ZEE serán ejecutados a tres niveles o escalas, de acuerdo con la dimensión, naturaleza y objetivos planteados: macrozonificación, mesozonificación y microzonificación, de los cuales y para esta investigación será la microzonificación la elegida por ser de un tipo local (el área de estudio, de la cuenca de la quebrada el Pedregal comprende 10.24 km²), teniendo una escala de representación mayor generando información a detalle. Lo anterior define los productos finales a entregar: los mapas de esta investigación tienen una escala de publicación de 1/25,000 (Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana - IIAP, S.F.)

Para esta investigación se utilizará polilíneas para representar las vías y la estimación del talweg (flujo de agua y lodo). En la Figura 10 se ve un ejemplo de uso de la información vectorial: se observa que unos tres puntos representan el acceso de tres minas, dos polilíneas azules representan un río y su tributario, un polígono verde un área verde y nueve rectángulos (polígonos) representan nueve casas.

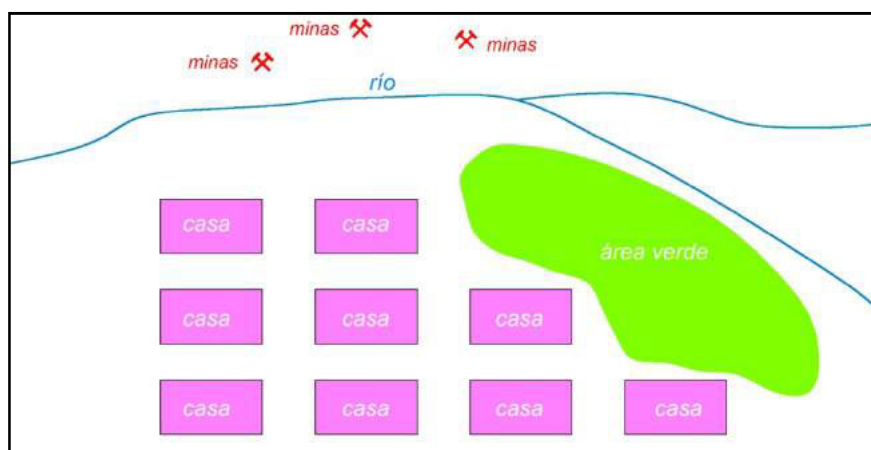


Figura 10. Ejemplo del uso de polígonos, polilíneas y puntos.

Fuente. Elaboración propia.

Esta informaci3n vectorial o geom3trica y sus atributos estar3n almacenada en archivos shapefile, conjunto de archivos desarrollados por ESRI y que consta como m3nimo de tres archivos:

- ¿ Archivo de extensi3n shp, es el archivo principal donde se almacena geometr3as;
- ¿ Archivo de extensi3n shx, es el archivo 3ndice de las geometr3as, y
- ¿ Archivo de extensi3n dbf, es el archivo donde est3n la informaci3n de los atributos de cada geometr3a (es un tabla dBase).
- ¿ Adicionalmente existe un cuarto archivo, de extensi3n prj que indica la referencia espacial del shapefile.

En esta tesis, cuando se mencione un archivo shapefile, se har3n referencia a los tres o cuatro archivos componentes descritos anteriormente.

2.3.4.4. Informaci3n MDT - R3ster

En esta categor3a se puede subdividir en dos tipos de informaci3n, por un lado se tiene a los Modelos Digitales de Terreno (MDT) que vendr3n ser una representaci3n matricial regular de la variaci3n continua del relieve en el espacio (Burrough & McDonnell, 1998); representan una caracter3stica o condici3n de una superficie topogr3fica. Bajo esta premisa y siendo de naturaleza matricial, queda impl3cito un uso matem3tico de los MDT para efectuar an3lisis de acuerdo a las necesidades del investigador.

En la Figura 11 se muestra un MDT a la izquierda y un R3ster a la derecha donde cada color representa un valor de celda mostrando que mientras un MDT tiene informaci3n num3rica (lado izquierdo) de forma de un arreglo num3rico una imagen guarda informaci3n de colores que muestran un paisaje o parte de un territorio,

En la Figura 12 se observa en el lado izquierdo una matriz de puntos con valores enteros y al lado derecho una matriz de puntos con valores l3gicos (V representa a verdadero y F a falso). Ambas matrices est3n compuestas

por filas (5 en total) y columnas (4 en total). Se observa también que existen valores nulos, lo que significa que no existe información (son puntos vacíos sin valores). Además, los puntos con valores están separados a una distancia constante d .

En la Figura 13 se muestra un Raster que son un tipo de modelo de información espacial que define un espacio como un matriz de celdas de igual tamaño y distribuidos en filas y columnas. Cada una de estas celdas contiene un valor y una ubicación de coordenadas (ESRI ÷, 2016b). Un ejemplo de un raster es la Figura 12.

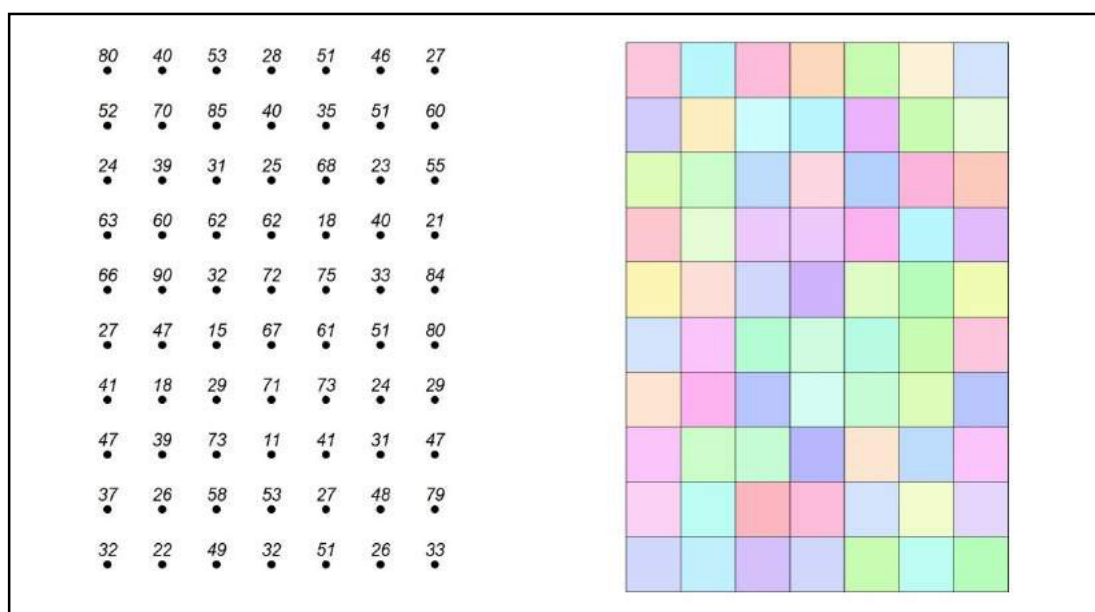


Figura 11. Muestra de un MDT (izquierda) y Raster (derecha) como estructuras matriciales.

Fuente. Elaboración propia.

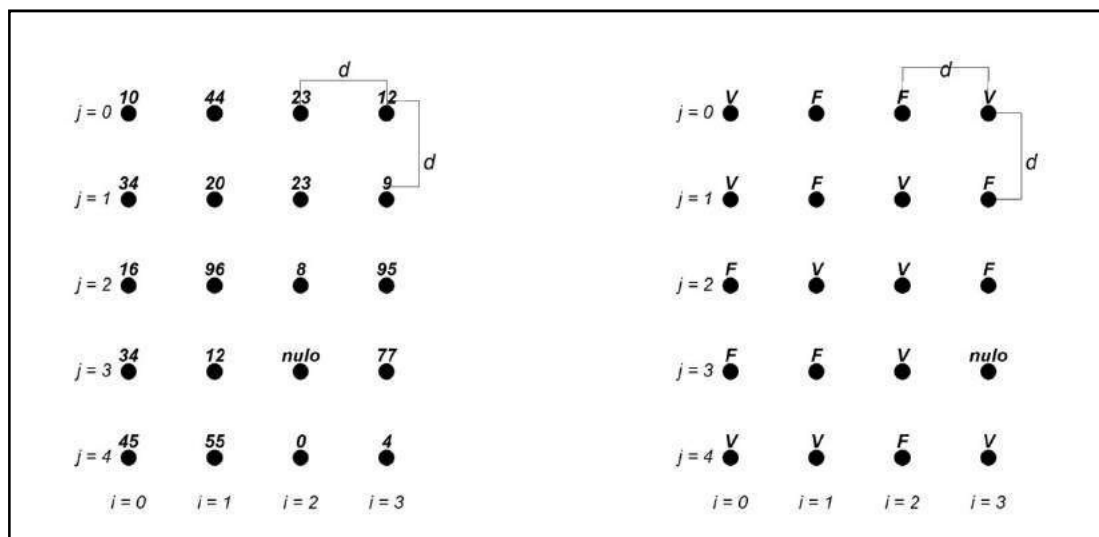


Figura 12. Ejemplo de una matriz con valores enteros y otra de valores lógicos.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 13. Ejemplo de un Raster, representado una imagen de un área de la quebrada el Pedregal.

Fuente. Google Earth (2016).

Si bien pueden ser similares los conceptos de un Modelo Digital de Terreno y de un R ster, hay ciertas consideraciones que las hacen diferentes (ver Cuadro 1):

Cuadro 1. Semejanzas y diferencias entre un MDT y un R ster.

	MDT	R�ster
Formatos de archivos	asc	jpg, geotif
Son formas matriciales	Si	Si
Necesitan de un archivo adicional para estar referenciados espacialmente	Si	No
Pueden leerse sus datos como un ASCII	Si	No
Pueden ser representaciones paisajísticas	No	SI

Fuente. Elaboración propia.

En el Cuadro 1 se observan unas semejanzas y diferencias entre un MDT y un R ster para la siguiente investigación:

- Formatos de archivos: existe una variedad de formatos de archivos para los MDT, entre ellos tenemos al asc, un formato ráster Ascii Esri. Para el caso del R ster se tiene al formato jpg que son los archivos de imágenes estándar para la codificación de imágenes (por ejemplo, las imágenes que se obtienen desde una cámara fotográfica digital), otro formato es el geotiff que es un tipo de R ster estándar para los Sistemas de Información Geográfica y diseñado por el Jet Propulsion Laboratory (2004) de la NASA (similar al jpg).
- Son formas matriciales: en ambos casos (MDT y R ster), se tratan de tipo de información del tipo matricial (entendido que adquieren una forma rectangular). SI bien puede existir MDT y R ster de forma irregular, esto es porque tiene información que se encuentra oculta, o es información sin valor (valores nulos).

c) Necesitan de un archivo adicional para estar referenciados espacialmente: Siendo los MDT y Raster representaciones de información espacial, necesitan de estar referenciados espacialmente. Sin embargo, El MDT del asc no tiene esta referencia espacial y necesita de un archivo que le indique su referencia (un archivo con extensión prj). Para el caso del geotiff, tiene su referencia dentro de la imagen misma, mientras el jpg necesita de un archivo que le indique su referencia espacial (un archivo con extensión jgw).

En la Figura 14 se ve la apertura de un archivo ASC en el programa ArcGIS. Las dos primeras figuras (a y b) se ve la secuencia de su apertura sin el archivo de la referencia espacial (archivo prj), en la figura b el programa ArcGIS manda un hacer visualizar un mensaje de advertencia diciendo que no hay una referencia espacial para visualizar el archivo (pero de todas maneras la visualiza. Desde la figura c y d se ve la apertura del mismo archivo pero con el archivo prj de referencia espacial, sin mostrar el mensaje de advertencia, y en la figura e se comprueba la referencia espacial del ASC (datum WGS84, zona UTM 18S).

Como se ve en la Figura 15, es más sencilla la apertura de un geotiff (figura a) ya que en su estructura misma se encuentra la referencia espacial y se comprueba en la figura b.

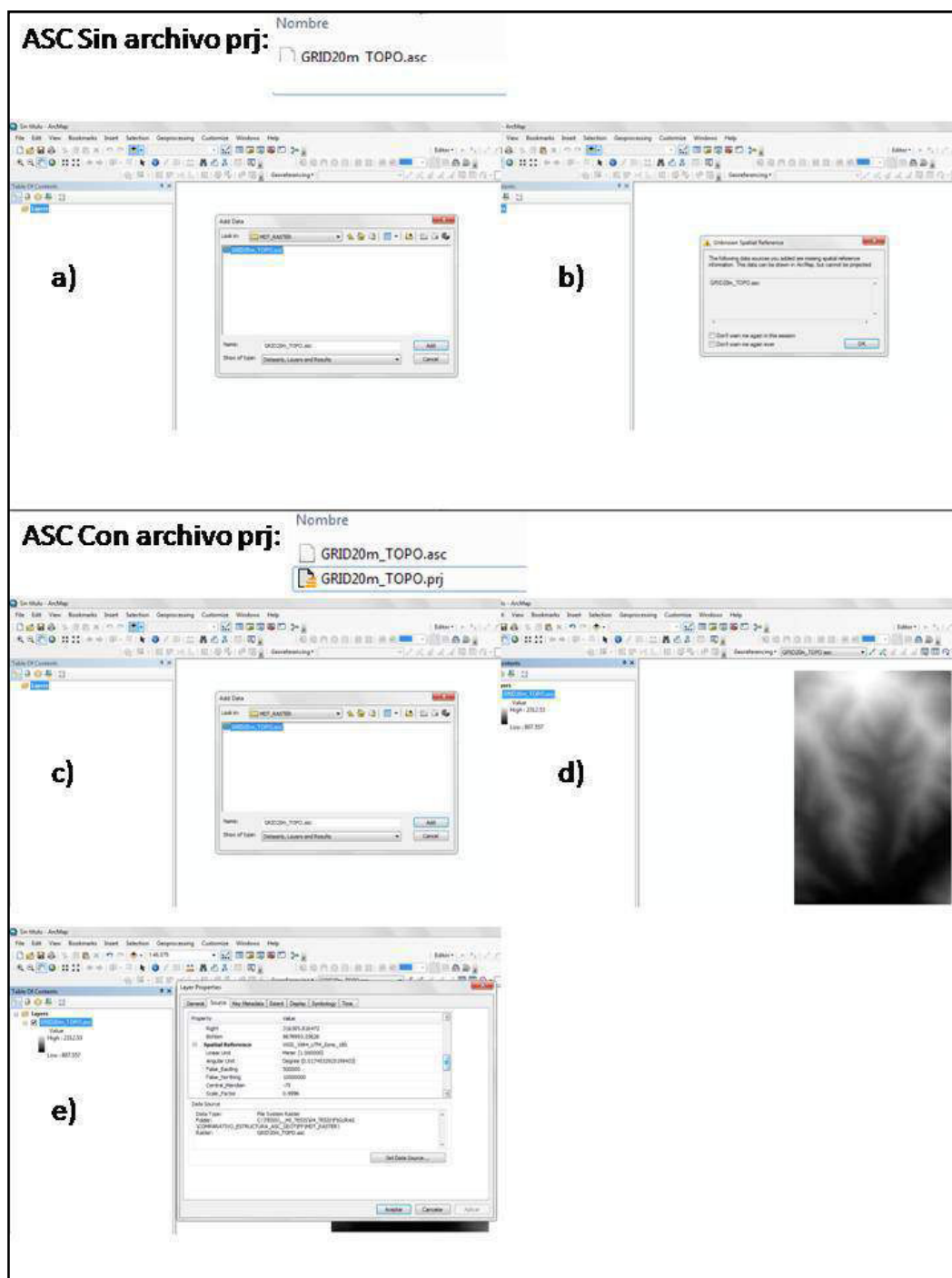


Figura 14. Apertura de un archivo ASC "sin" y "con" referencia espacial.
Fuente. Elaboración propia.

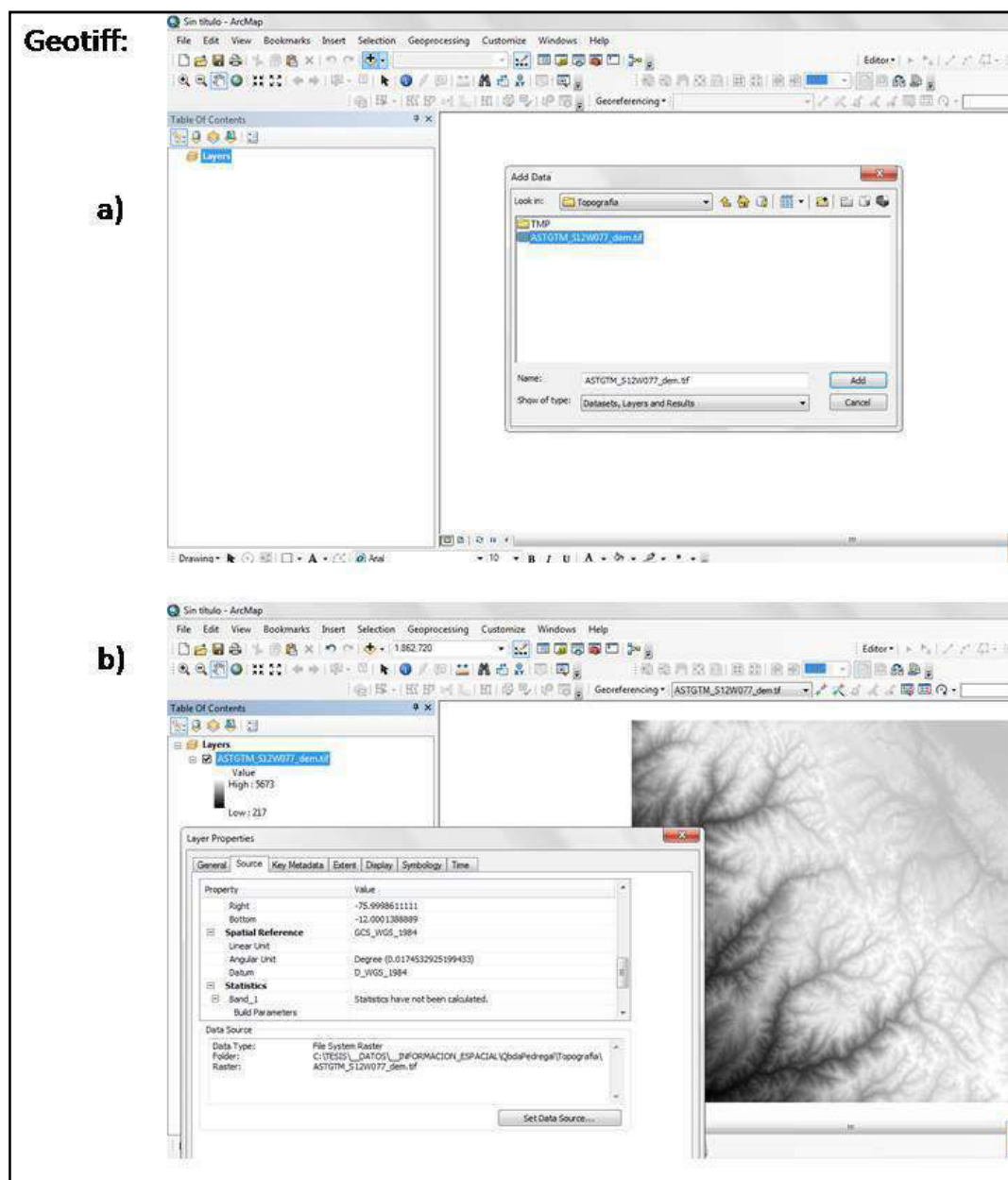


Figura 15. Apertura de un archivo geotiff.

Fuente. Elaboración propia.

e) Pueden ser representaciones paisajísticas: como se menciona en el punto a), un jpg puede obtenerse desde una cámara fotográfica y esa imagen capta una parte de la realidad visual o paisajística. Si se agrupan las celdas y a una escala de visualización adecuada se puede observar formas y colores de los objetos de un paisaje (árboles, montañas, edificaciones, ríos, entre otros), y este concepto también es alcanzado para el geotiff. En contraste, un MDT es una representación espacial de valores, si se agrupan sus celdas y a una escala adecuada de visualización pueden sugerir patrones o una distribución de la información pero no representan tan bien objetos de una forma paisajística o visual como árboles, edificaciones; pueden sugerir quebradas, lechos de ríos, formas de relieve, entre otros.

Entre los usos para los MDT y Raster:

- ¿ Son ideales para representar información continua;
- ¿ Son tipos de datos simples, y
- ¿ Las operaciones de superposición de mapas se implementan de forma más rápida y eficiente.

El archivo conteniendo los puntos topográficos utilizados para la presente investigación proviene de una imagen ALOS PALSAR (ASF DAAC, 2010) en formato geotiff y resolución espacial de 12.5 m y con corrección de terreno. Dicha imagen se encuentra disponible en la página de 'Alaska Satellite Facility' (Alaska Satellite Facility - ASF, 2017). La cual tiene una corrección del terreno que es el proceso de corregir geométrica las distorsiones que conllevan a los errores en la geolocalización. Estas distorsiones son provocados por el punto de vista de donde es captada la imagen por el sensor(a pesar que el sensor y el terreno objetivo están ortogonalmente posicionados) y también provocado por la rugosidad del terreno. La corrección del terreno se encarga de mover los píxeles de la imagen de una forma proporcional - espacial en relación entre estos píxeles (Alaska Satellite Facility, 2017). La altura de la imagen ALOS PALSAR es elipsoidal (Agrawal, R., Das, A. & Mohan S., 2014).

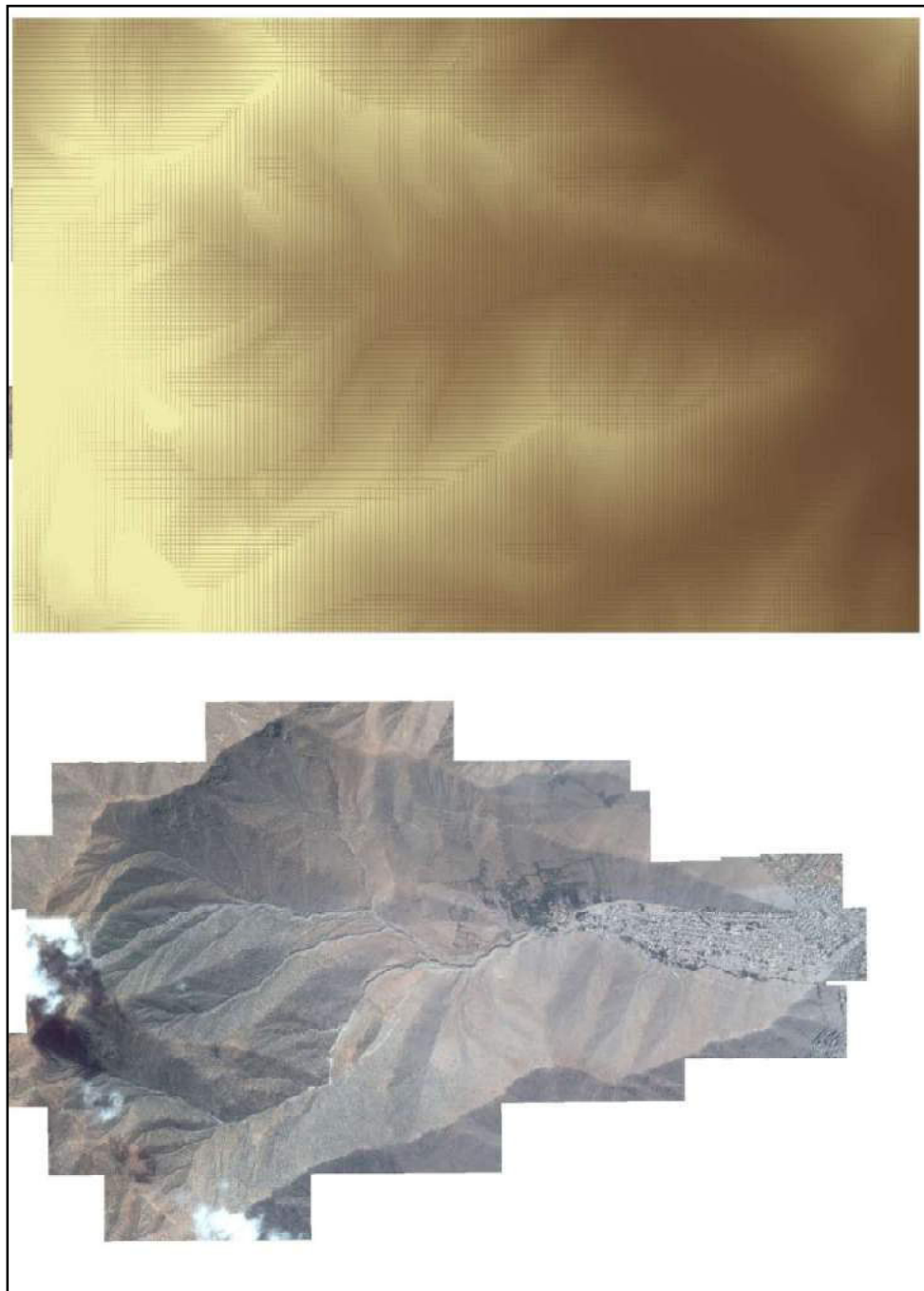


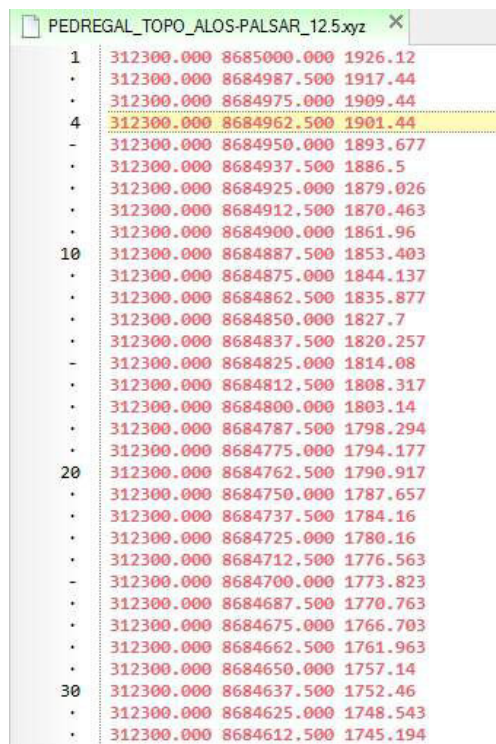
Figura 17. Comparativo visual entre un MDT (arriba) y un Raster (abajo). Fuente. Imagen de arriba: Elaboración propia
Imagen de abajo: Tomado de Google Earth (2014) y usando Sasplanet para la descarga de las imágenes.

Luego de exportar el geotiff mencionado utilizando el software QGIS a un archivo con extensión xyz donde se muestra tres columnas:

- ¿ La primera columna son las coordenadas X;
- ¿ La segunda columna son las coordenadas Y,
- ¿ y la tercera columna son las altitudes.

Gráficamente, los puntos topográficos forman un rectángulo, y comienzan desde la esquina izquierda superior (punto topográfico número 1) y terminan en la esquina derecha inferior (punto topográfico número 154,401).

Contiene a su vez 154,401 puntos topográficos, y entre cada punto se encuentran con la siguiente separación espacial de 12.5 m entre las coordenadas Norte y Este (Figura 18):



Point Number	X Coordinate	Y Coordinate	Elevation
1	312300.000	8685000.000	1926.12
2	312300.000	8684987.500	1917.44
3	312300.000	8684975.000	1909.44
4	312300.000	8684962.500	1901.44
5	312300.000	8684950.000	1893.677
6	312300.000	8684937.500	1886.5
7	312300.000	8684925.000	1879.026
8	312300.000	8684912.500	1870.463
9	312300.000	8684900.000	1861.96
10	312300.000	8684887.500	1853.403
11	312300.000	8684875.000	1844.137
12	312300.000	8684862.500	1835.877
13	312300.000	8684850.000	1827.7
14	312300.000	8684837.500	1820.257
15	312300.000	8684825.000	1814.08
16	312300.000	8684812.500	1808.317
17	312300.000	8684800.000	1803.14
18	312300.000	8684787.500	1798.294
19	312300.000	8684775.000	1794.177
20	312300.000	8684762.500	1790.917
21	312300.000	8684750.000	1787.657
22	312300.000	8684737.500	1784.16
23	312300.000	8684725.000	1780.16
24	312300.000	8684712.500	1776.563
25	312300.000	8684700.000	1773.823
26	312300.000	8684687.500	1770.763
27	312300.000	8684675.000	1766.703
28	312300.000	8684662.500	1761.963
29	312300.000	8684650.000	1757.14
30	312300.000	8684637.500	1752.46
31	312300.000	8684625.000	1748.543
32	312300.000	8684612.500	1745.194

Figura 18. Una parte del archivo con los puntos topográficos.

Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo a ESRI[®] (2016a) los MDT y Raster son datos de tipo continuo porque una medida (de un punto) sobre este tipo de información (una superficie) es una medida de nivel o concentración con respecto a una base de origen. También son tipos de datos continuos porque entre los límites del MDT y del Raster puede haber infinitos valores (Mazari, 2010). La topografía encaja perfectamente esta categoría porque se puede tener infinitas valores de altitudes en un espacio pequeño, como se muestra en la Figura 19 en a) un área topográfica de 150 m x 200 m y se observan curvas de nivel cada 50 m y dentro de dicha área se ve un rectángulo en rojo que se ve en el detalle en b) que es un área topográfica de 15 m x 20 m y se observan también curvas de nivel cada 10 m y a su vez un área que se ve en c) que es un área con dimensiones de 1.5 m x 20 m y con curvas de nivel cada decímetro y que también en un área topográfica mostrada en d) cuyas dimensiones son 0.15 m x 0.20 m y curvas de nivel cada centímetro, y como es de suponer se puede seguir con este procedimiento continuamente, de ahí viene la continuidad de la información MDT y Raster y de la topografía.

Sobre el uso del MDT y de los Raster en topografía, se explica porque el MDT es una colección matricial de valores distanciados por una razón o constante de separación formando una superficie matemática (por llamarla de una manera), mientras la topografía es una superficie donde se puede obtener sus valores de altitud en puntos establecidos, como se muestra en la Figura 20: en su izquierda una superficie topográfica, donde si se desea, se puede superponer puntos topográficos (con coordenadas x, y) de forma regular o matricial, con el fin de que se pueda obtener las altitudes de dichos puntos. A la derecha de la misma Figura se observa solamente las altitudes pero ya ordenadas matricialmente en filas y columnas, notándose que el MDT puede representar la topografía de una superficie.

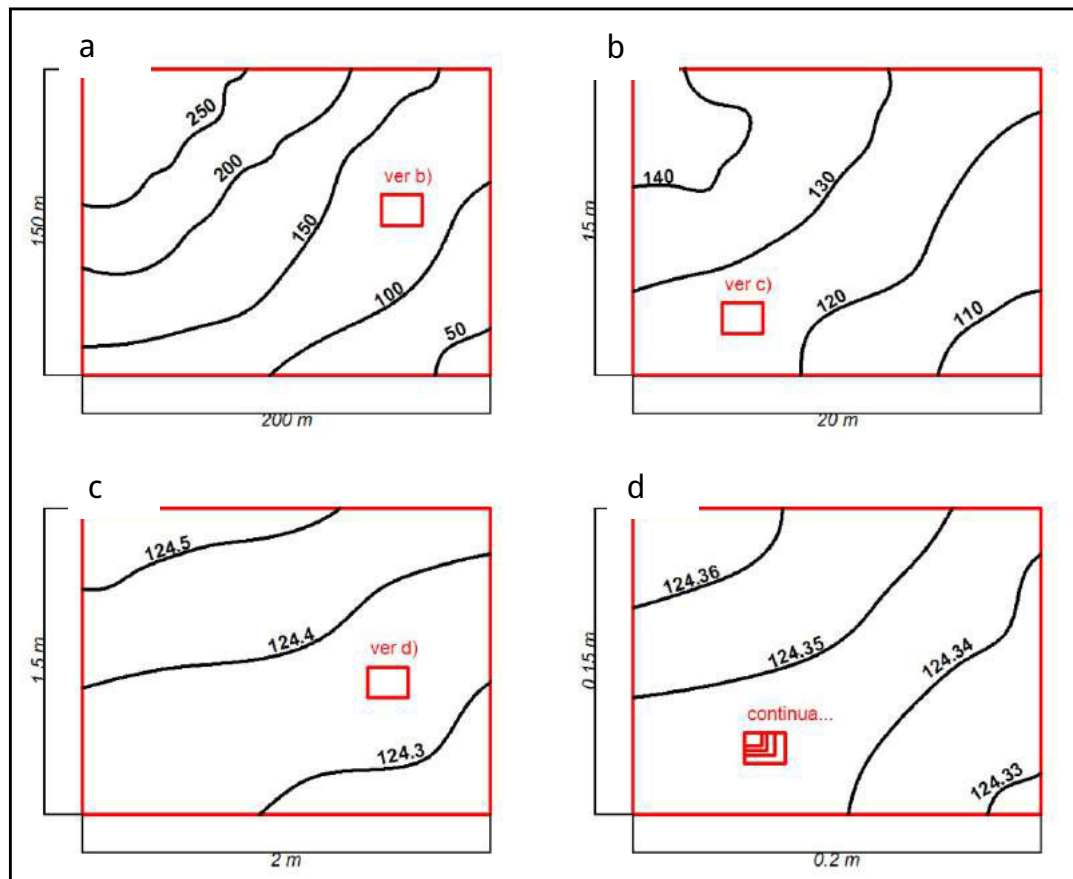


Figura 19. La topografía como dato continuo.

Fuente. Elaboración propia.

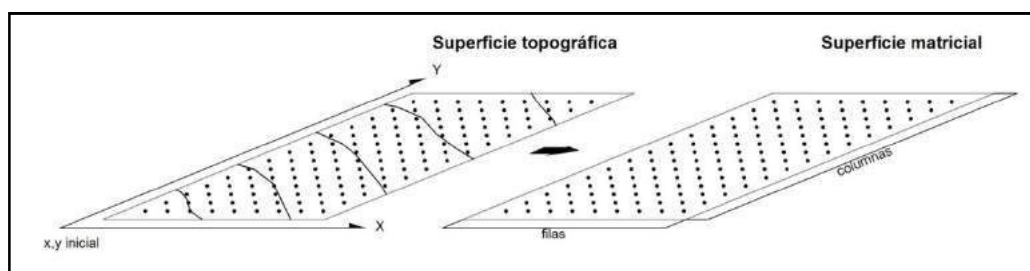


Figura 20. Comparación de una superficie topográfica y una matriz de datos.

Fuente. Elaboración propia.

2.3.4.5. Sistema de Coordenadas

El sistema de coordenadas cartesianas está compuesto por dos o tres líneas (conocidas como ejes) perpendiculares entre sí que representan un sistema de dos o tres dimensiones respectivamente. Cada eje se encuentra graduado por unidades de medida longitudinal, y tienen como función medir la distancia de un objeto sobre el sistema de coordenadas cartesianas con el origen común de los tres ejes. Cada uno de estos ejes nominalmente se le conoce como eje x a una línea horizontal al origen común del sistema de coordenadas cartesianas, eje y a una línea vertical al origen común del sistema de coordenadas cartesianas, y eje z a una línea normal al origen del sistema de coordenadas cartesianas. En la Figura 21 se muestra en el lado izquierdo un sistema de coordenadas cartesianas de tres ejes conocido como tridimensional o 3D y a la derecha un sistema de coordenadas cartesianas de dos dimensiones conocido como bidimensional o 2D. Nótese que en cada origen de los ejes, los planos entre ellos forman un ángulo de 90°.

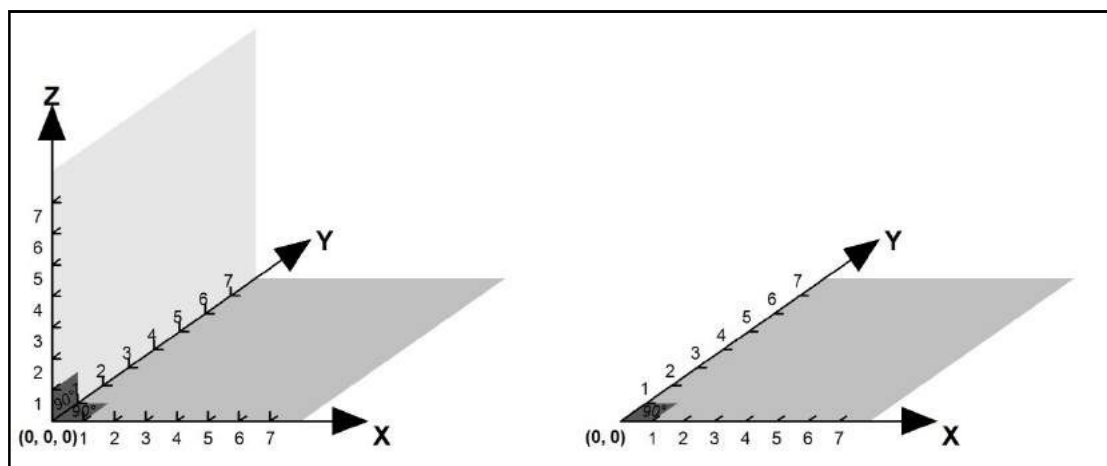


Figura 21. Sistema de coordenadas cartesianas.

Fuente. Elaboración propia.

2.3.4.6. Punto

De acuerdo al Wolfram MathWorld (2016), un punto es un objeto matemático de 0 (cero) dimensiones la cual puede ser especificado (y caracterizado) en n dimensiones en el espacio usando valores para su especificación (y caracterización). Siguiendo esta definición, se define cada una de estas 3 dimensiones para unas funciones específicas:

- ¿ Una dimensión representa su ubicación en el eje x que nominalmente se conoce como coordenada x , conocida también como coordenada Este;
- ¿ Una dimensión representa su ubicación en el eje y que nominalmente se conoce como coordenada y , conocida también como coordenada Norte;
- ¿ Una dimensión representa su ubicación en el eje z que nominalmente se conoce como coordenada z . Para la Cartografía y Topografía puede ser llamada como Altitud y representa la distancia entre un punto base (por ejemplo la altura medio del mar) y dicho punto.

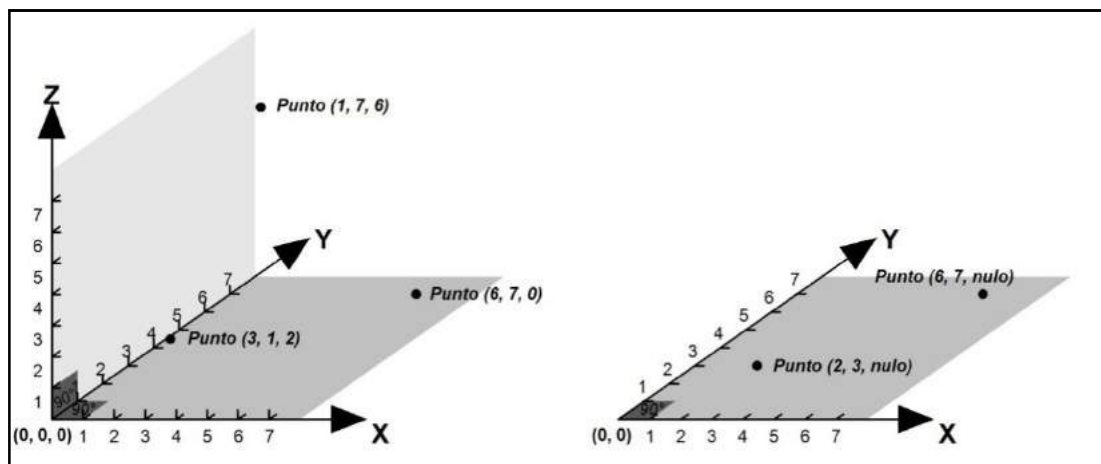


Figura 22. Representación de un punto en un espacio de tres y dos dimensiones.

Fuente. Elaboración propia.

En la Figura 22 se muestra dos ejemplos de sistema de coordenadas cartesianas, de la cual se desprende varias consideraciones:

¿ La figura de la izquierda es un sistema de tres dimensiones y la derecha con dos dimensiones;

¿ Para la presente investigación los puntos estarán definidos matemáticamente como (x, y, z) . La ausencia de alguno de ellos se hará notar cuando se escriba la palabra nulo en el valor de la coordenada que esté ausente. Mientras que el número 0 (cero) es un valor numérico o magnitud y no indica ausencia de valor (cero no es igual a nulo). La ausencia de un valor se justifica porque dicho valor no es relevante o necesario en su uso en los modelos y algoritmos matemáticos;

¿ Se observa que en la figura de la izquierda, hay un primer punto cuyas coordenadas son $(1,7,6)$ e indica dicho punto está ubicado en la coordenada $x = 1$, coordenada $y = 7$, coordenada $z = 6$; luego existe un segundo punto cuyas coordenadas son $(6,7,0)$ e indica dicho punto está ubicado en la coordenada $x = 6$, coordenada $y = 7$, coordenada $z = 0$ (indica que está en la base o piso del sistema de coordenadas cartesianas); y un tercer punto cuyas coordenadas son $(3,1,2)$ e indica dicho punto está ubicado en la coordenada $x = 3$, coordenada $y = 1$, coordenada $z = 2$. Siendo un sistema de coordenada de tres dimensiones, por lo tanto, siempre las coordenadas x, y, z tendrán valores (los valores de x, y, z nunca serán iguales a nulo), y

¿ Se observa que en la figura de la derecha, hay un primer punto cuyas coordenadas son $(6,7, \text{nulo})$ e indica dicho punto está ubicado en la coordenada $x = 6$, coordenada $y = 7$, no existe valor para la coordenada z ; luego existe un segundo punto cuyas coordenadas son $(2,3, \text{nulo})$ e indica dicho punto está ubicado en la coordenada $x = 2$, coordenada $y = 3$, no existe valor para la coordenada z . Siendo un sistema de coordenada de dos dimensiones, por lo tanto, siempre las coordenadas x, y tendrán valores (los valores de x, y nunca serán iguales a nulo).

De todo lo anterior se puede afirmar que, para que un punto exista debe ocurrir lo siguiente:

¿ La coordenada x siempre toma valores desde numéricos positivos, negativos y el 0 (cero). Este valor es necesario para que el punto exista. El valor de x nunca ser igual a nulo;

¿ La coordenada y siempre toma valores desde numéricos positivos, negativos y el 0 (cero). Este valor es necesario para que el punto exista. El valor de y nunca ser igual a nulo, y

¿ La coordenada z siempre toma valores desde numéricos positivos, negativos y el 0 (cero). Si existe este valor (z diferente a nulo), el sistema de coordenadas cartesianas ser de tres dimensiones, si no existe este valor (z igual a nulo), el sistema de coordenadas cartesianas ser de dos dimensiones.

2.3.4.7. Polilínea

De acuerdo al nombre, una polilínea vendría a ser la reunión o conjunto de muchas líneas, sin embargo pueden que estas líneas sean continuas o no. Este tipo de peculiaridad se ven en algunos programas usados en los Sistemas de Información Geográfica, como el ArcGIS de la compañía ESRI ÷ (1998) una polilínea está compuesto por vértices y de una o más partes (entendiéndose como subconjuntos de vértices); también ocurre con el programa MapInfo de la compañía Pitney Bowes (MapInfo Corporation, 1999), una polilínea es el objeto que consiste de uno o más secciones (se da a entender que una parte para ArcGIS es igual que una sección para MapInfo).

En la Figura 23 se muestra en el lado izquierdo (sistema de coordenadas cartesianas en tres dimensiones) dos polilíneas, las cuales la polilínea 0 (en color negro) está definida por una sucesión continua de vértices, o una sucesión continua de líneas (de acuerdo como se la desee definir) que será una sola parte (Parte 0), mientras que la polilínea 1 (en color rojo) está definida por una sucesión no continua de vértices o de líneas formando dos partes (siendo llamadas como Parte 0 y Parte 1). De la misma forma sucede en el lado derecho de la Figura 23 (sistema de coordenadas cartesianas en dos dimensiones), se observa que la polilínea 0 está formado por una sola

parte (Parte 0), mientras que la polilínea 1 está formada por dos partes (Parte 0 y Parte 1). Por lo tanto, se puede afirmar que para formar un objeto polilínea, se hace necesario analizarlo desde un objeto parte de polilínea que a su vez para la presente investigación, una parte de polilínea queda definida como una sucesión continua de vértices.

De la Polilínea se puede detallar algunas propiedades:

¿ Numero de vértices que es la cantidad de vértices por cada parte de polilínea, quedando expresado con la sumatoria:

Y desde la información de cada parte de polilínea, se puede obtener las propiedades innatas para una polilínea, como:

¿ Numero de partes que es la cantidad de partes que están agrupados los vértices de una polilínea.

¿ Numero de vértices que es la suma de la cantidad de vértices por cada polilínea.

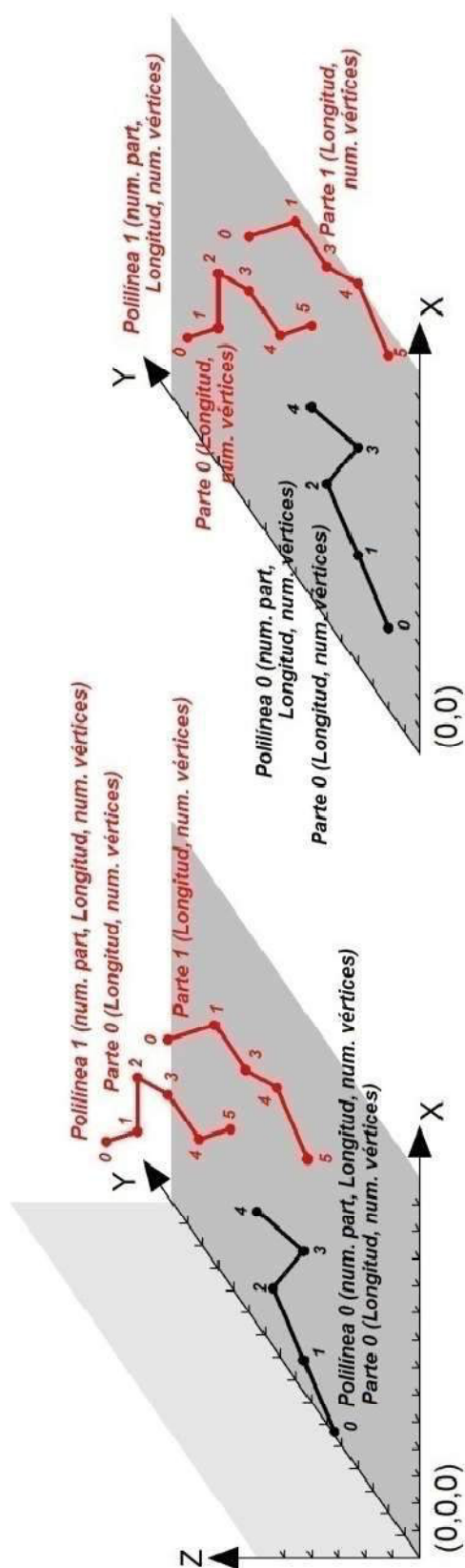


Figura 23. Representación de una polilínea en un espacio de tres y dos dimensiones.

Fuente. Elaboración propia.

2.3.4.8. Grilla

Los puntos pueden estar agrupados de forma dispersa (cuando no existe un patrón o razón en la ubicación de un punto con respecto de otro punto) y de forma regular (cuando existe un patrón o razón en la ubicación de un punto con respecto de otro punto). Esta forma regular de agrupamiento de puntos se les conoce como grilla (también conocida como malla). Una grilla es una reunión rectangular o matricial de puntos. Como reunión rectangular o matricial se define a la disposición de un grupo de objetos con una separación definida y constante tal como se muestra en la Figura 24 donde se ve nueve puntos topográficos en el lado izquierdo, cada uno con coordenadas x , y más la coordenada z que serán sus altitudes. Se observa de igual manera que cada uno de estos nueve puntos est n separados por una distancia constante d tanto en el eje x como en el eje y . En el lado derecho de la misma Figura se ven los nueve puntos topográficos, pero con la diferencia que no est n referenciados con las coordenadas x , y , más bien están referenciados por números enteros como índices de filas (los valores j) y de columnas (los valores i) comenzando desde el 0 (cero) y en contra posición con las coordenadas x , y con son números reales, a su vez, estos puntos est n separados por la misma distancia d .

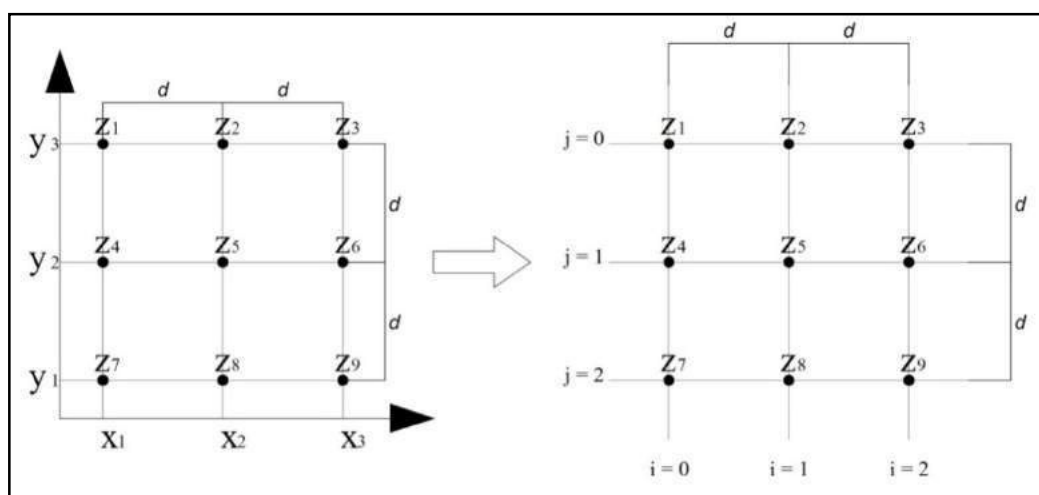


Figura 24. Una grilla de puntos.

Fuente. Elaboración propia.

De lo anterior, se observa la ventaja de almacenar los puntos topográficos en una grilla, ya que en realidad solo se almacena la coordenada z y solo se necesitaría un punto con coordenadas x , y iniciales para poder referenciar espacialmente la grilla con los valores de las coordenadas z .

Un ejemplo de lo anteriormente dicho y usando la misma Figura 24 sería que teniendo una grilla de puntos como el mostrado en el lado derecho de la Figura en mención, se utilice el punto cuyo índice de fila es el 0, y el de columna el 0, sea igual a la coordenada x_1, y_3 (esquina superior izquierda), como coordenada inicial de la grilla para su referenciación especial, luego, si queremos hallar cuáles serían las coordenadas x , y en la columna 2 ($i = 2$), fila 2 ($j = 2$) de la grilla, serían:

$$x = x_{\text{inicial}} + d \cdot i \quad y = y_{\text{inicial}} + d \cdot j$$

$$x = x_{\text{inicial}} + d \cdot 2 \quad y = y_{\text{inicial}} + d \cdot 2$$

Si se observa en la Figura 24, está en la esquina inferior derecha. Por lo tanto, las ecuaciones generales para determinar la relación entre un punto de la grilla con un punto topográfico serían:

$$x = x_{\text{inicial}} + d \cdot i \quad y = y_{\text{inicial}} - d \cdot j$$

$$x = x_{\text{inicial}} + d \cdot i \quad y = y_{\text{inicial}} - d \cdot j$$

Donde x_{inicial} e y_{inicial} son datos que ayudan a referenciar espacialmente la grilla, el i y la j es la ubicación de la fila y columna, la d es la distancia o resolución entre cada punto de la grilla (que es la misma distancia o resolución que existe entre los puntos topográficos). En la ecuación se observa que el producto del valor j de la fila por la distancia d es negativo y se le resta al y_{inicial} , esto se debe por las propias exigencias del archivo con

puntos topográficos que se tiene y se encuentra explicado en el acápite 2.3.4.4. (Información MDT - Raster), Figura 18.

De las ecuaciones (2.3.4.3) y (2.3.4.4) despejando el i de las columnas y el j de las filas, obtenemos:

$$i = \frac{(x - x_{\text{inicial}}) \cdot \text{num. columnas}}{d} \quad (2.3.4.5)$$

$$j = \frac{(y - y_{\text{inicial}}) \cdot \text{num. filas}}{d} \quad (2.3.4.6)$$

Pero como los valores i , j son enteros, se tiene que redondearlos al entero superior inmediato si la parte decimal de los resultados de las ecuaciones (2.3.4.5) y (2.3.4.6) es igual o mayor a 0.5, si es lo contrario, menor a 0.5, solo se considera la parte entera:

$$i = \text{redondeo superior} \left(\frac{(x - x_{\text{inicial}}) \cdot \text{num. columnas}}{d} \right) \quad (2.3.4.7)$$

$$j = \text{redondeo superior} \left(\frac{(y - y_{\text{inicial}}) \cdot \text{num. filas}}{d} \right) \quad (2.3.4.8)$$

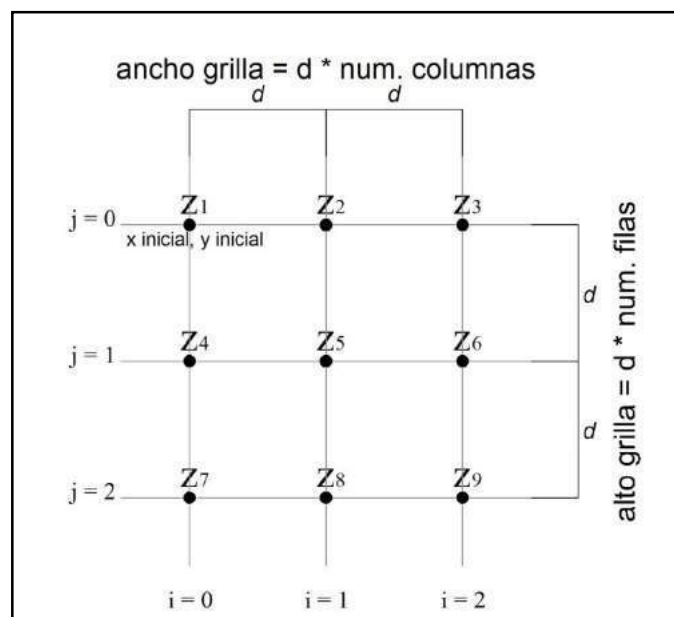


Figura 25. Representación de una grilla.

Fuente. Elaboración propia.

Se observa en la Figura 25 que la grilla está conformado por filas y columnas formando siempre un rectángulo. Para la Figura 25, se forma un rectángulo de lados iguales (conocido como cuadrado). Esta grilla tiene como propiedades:

- ¿ Numero de filas, que es la cantidad de puntos distribuidos de forma vertical;
- ¿ Numero de columnas, que es la cantidad de puntos distribuidos de forma horizontal;
- ¿ Ancho de grilla que es la multiplicación de la separación d por el numero de columnas;
- ¿ Alto de grilla que es la multiplicación de la separación d por el numero de filas;
- ¿ x inicial, y inicial, que viene a ser un punto con coordenadas x , y para poder ubicarlo espacialmente,
- ¿ Otras propiedades pueden ser los valores máximos y mínimos de las altitudes se encuentren almacenados en la grilla.

2.3.4.9. El remuestreo o interpolación de datos para la continuidad de los datos topográficos

En la Figura 24, se observa un agrupamiento regular de puntos topográficos y su equivalente como una grilla, Cada uno de estos puntos de esta grilla tiene valores (de altitudes si se habla de puntos topográficos). Como se explico en el acápite 2.3.4.4 (Información MDT - Raster), Figura 19 sobre la continuidad de la topografía, entonces se hace necesario una metodología que permita a la grilla que contiene los valores de altitudes representar la topografía de un lugar.

En la Figura 26, se muestra a la Figura 24, pero con dos puntos en rojo (Z_{10} , Z_{11}), que son dos puntos que se desee saber cual serian sus altitudes. Si lo mostrado en las Figuras 24 y 26 es una grilla que pretende representar

a la topografía de un lugar, entonces, estos dos puntos deben tener una altitud. Para el remuestreo o interpolación de valores que no se conocen, se utiliza los datos más cercanos que si tienen valores. Para ello se proponen la función Bicúbica que será explicada a continuación.

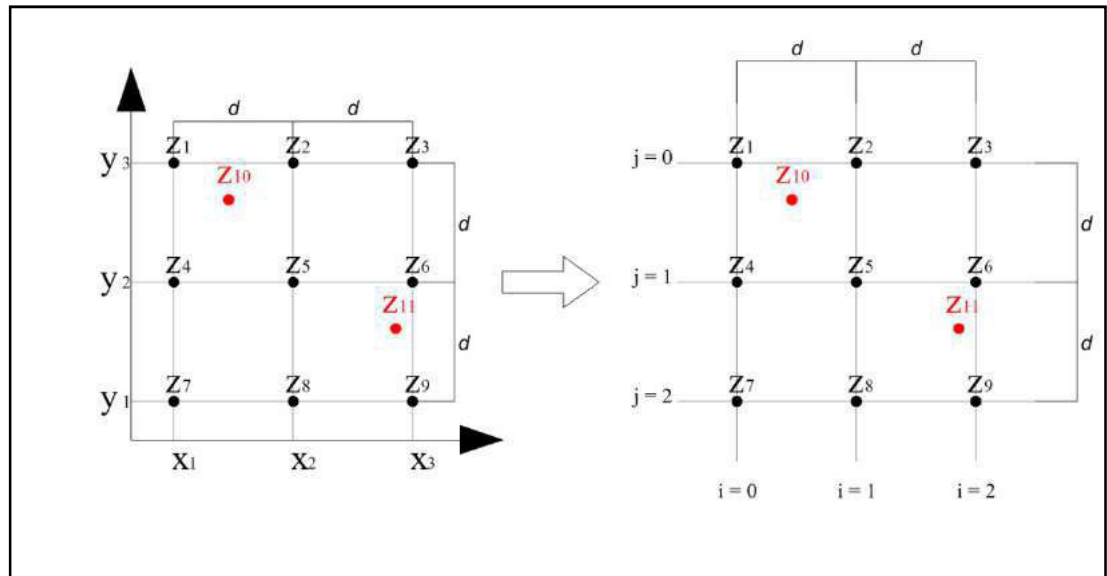


Figura 26. Explicación sobre los puntos sin valores de altitud.

Fuente. Elaboración propia.

2.3.4.10. Función Bicúbica

Para la ejecución de esta función se requiere de los 16 puntos más cercanos para obtener la altura requerida con el aprovechamiento que son más adecuados por su mejor adaptación a los datos reales, por lo tanto, se obtiene datos más ajustados a la realidad, pero el cálculo es más elaborado, como su nombre lo indica, utiliza una función cúbica para el cálculo de la altitud requerida (Felicísimo, 1994).

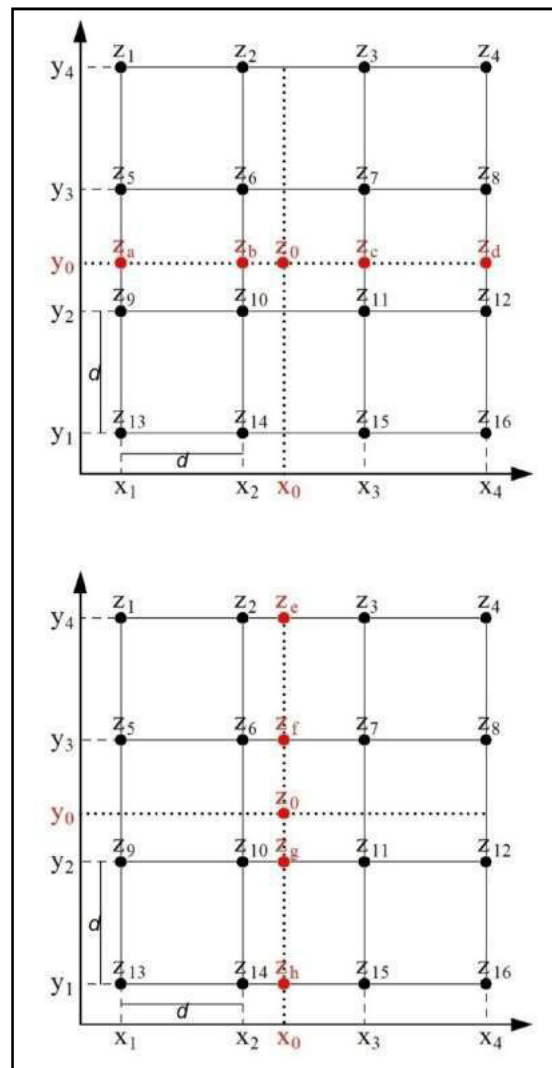


Figura 27. Función Bicúbica para el remuestreo de datos.

Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo con la Figura 27, se puede calcular el valor de Z_0 usando los valores tanto para el eje x como para el eje y . Este método de remuestreo o interpolación numérica consiste en que dados $(n + 1)$ valores, existe uno y solo un polinomio de grado n que pasa por todos los valores mencionados (Arapa Quispe, 2012). Para el caso de la Figura 27, siendo cuatro puntos los requeridos para calcular el valor de Z_0 (Z_a, Z_b, Z_c, Z_d para el eje x , o Z_e, Z_f, Z_g, Z_h para el eje y), se tiene la siguiente ecuación de polinomio de grado 3 (siendo $n = 4$):

倣倣 唵 倣 咄 倣 倣 咄 倣 倣 倣 倣

✕ v

Ajustando la ði i éi æ ā ✕ va los valores mostrados en la Figura 27 y para cada eje, se tiene para el eje x:

倣 唵 倣 咄 倣 倣 咄 倣 倣 倣 倣

⌞ 1:1 v

倣 唵 倣 咄 倣 倣 咄 倣 倣 倣 倣

⌞ 1:1 v

倣 唵 倣 咄 倣 倣 咄 倣 倣 倣 倣

⌞ 1:1 v

倣 唵 倣 咄 倣 倣 咄 倣 倣 倣 倣

⌞ 1:1 v

倣 唵 倣 咄 倣 倣 咄 倣 倣 倣 倣

⌞ 1:1 v

Para el eje y:

倣 唵 倣 咄 倣 倣 咄 倣 倣 倣 倣

⌞ 1:1 v

倣 唵 倣 咄 倣 倣 咄 倣 倣 倣 倣

⌞ 1:1 v

倣 唵 倣 咄 倣 倣 咄 倣 倣 倣 倣

⌞ 1:1 v

倣 唵 倣 咄 倣 倣 咄 倣 倣 倣 倣

⌞ ✕ v

倣 唵 倣 咄 倣 倣 咄 倣 倣 倣 倣

⌞ ✕ v

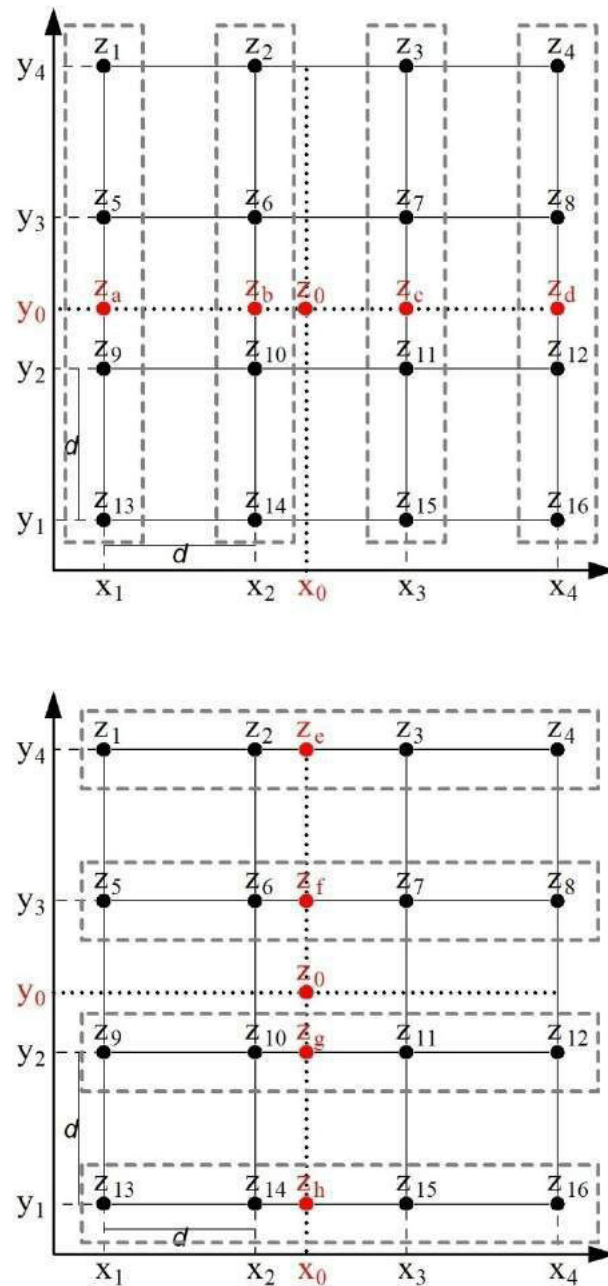


Figura 28. Distribuci3n de las ecuaciones en la Funci3n Bic3blica.
Fuente. Elaboraci3n propia.

La Figura 28 muestra las 10 ecuaciones, se puede observar que es trabajoso el c3lculo de los coeficientes a , se tendr3a que usar matrices para la resoluci3n de este sistema de ecuaciones, lo que ser3a algo exhaustivo para un algoritmo. Para evitar este trabajo, se utiliza un polinomio de interpolaci3n de Lagrange.

El polinomio de interpolaci3n de Lagrange tiene las siguientes caracter3sticas:

a) Es un m3todo que aproxima una parte de una funci3n de una forma polin3mica.

En la Figura 29 se observa la funci3n Seno (la l3nea azul continua), luego si se calcula su polinomio interpolador de Lagrange se obtiene la l3nea negra discontinua. Dicho polinomio es obtenido por los tres puntos que se observan (para 我急□必保)

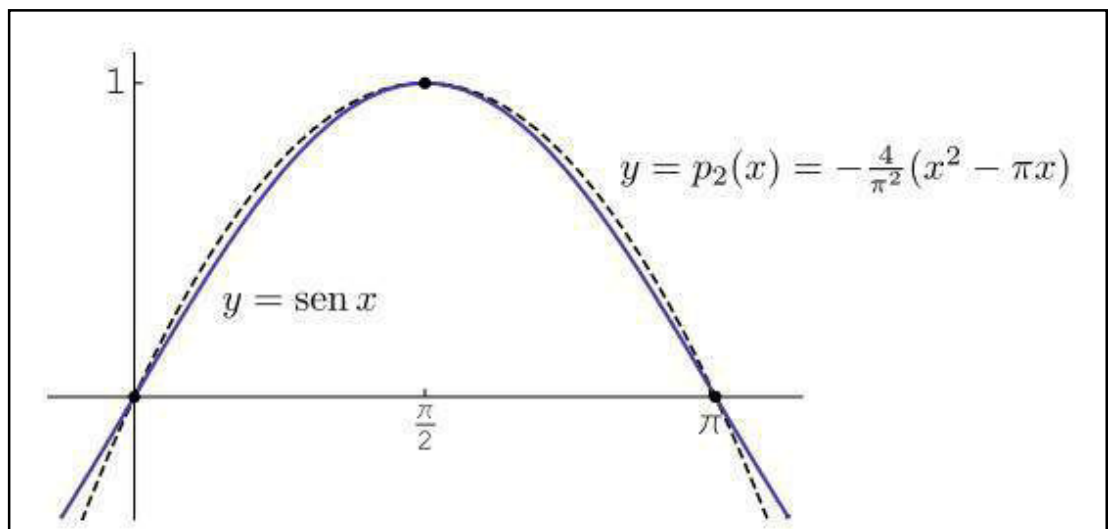


Figura 29. Funci3n Seno y su polinomio equivalente.

Fuente. Tomado de Esquerro Fern3ndez (2012).

b) Su implementaci3n en programaci3n es sencillo;

c) Se necesita saber cu3 es el grado del polinomio a trabajar. Siendo que ser3utilizado en la interpolaci3n bic3blica, el grado del polinomio siempre ser33;

d) Si el polinomio tiene es de grado 6 o mayor, no es adecuado su uso. Adem3s presenta grandes oscilaciones de amplitud cuando la cantidad de puntos es mayor a tres (Cornejo & D3az, 2014).

El polinomio de interpolaci3n de Lagrange tiene las siguientes ecuaciones, para un polinomio de grado 3 (modificado de Arapa Quispe, 2012)

$$L_0(x) = \frac{(x - x_1)(x - x_2)(x - x_3)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)(x_0 - x_3)}$$

$$L_1(x) = \frac{(x - x_0)(x - x_2)(x - x_3)}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)}$$

$$L_2(x) = \frac{(x - x_0)(x - x_1)(x - x_3)}{(x_2 - x_0)(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)}$$

$$L_3(x) = \frac{(x - x_0)(x - x_1)(x - x_2)}{(x_3 - x_0)(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)}$$

$$P(x) = L_0(x)f(x_0) + L_1(x)f(x_1) + L_2(x)f(x_2) + L_3(x)f(x_3)$$

Donde x es la variable de ingreso, los datos son los x_0, x_1, x_2, x_3 y en la $f(x_i)$ se tiene el valor interpolado. Adaptando las L_i de acuerdo a los datos de la Figura 28, tenemos para el eje x :

$$L_0(x) = \frac{(x - 1)(x - 2)(x - 3)}{(0 - 1)(0 - 2)(0 - 3)}$$

$$L_1(x) = \frac{(x - 0)(x - 2)(x - 3)}{(1 - 0)(1 - 2)(1 - 3)}$$

$$L_2(x) = \frac{(x - 0)(x - 1)(x - 3)}{(2 - 0)(2 - 1)(2 - 3)}$$

$$L_3(x) = \frac{(x - 0)(x - 1)(x - 2)}{(3 - 0)(3 - 1)(3 - 2)}$$

$$P(x) = L_0(x)f(0) + L_1(x)f(1) + L_2(x)f(2) + L_3(x)f(3)$$

$$P(x) = L_0(x)f(0) + L_1(x)f(1) + L_2(x)f(2) + L_3(x)f(3)$$

función al eje x para hallar los valores de los Z_j en la posición x (hace esta operación cuatro veces) y luego obtenido los cuatro valores Z_j procede hallar el valor del Z final (en la posición $y = Z_{x,y}$).

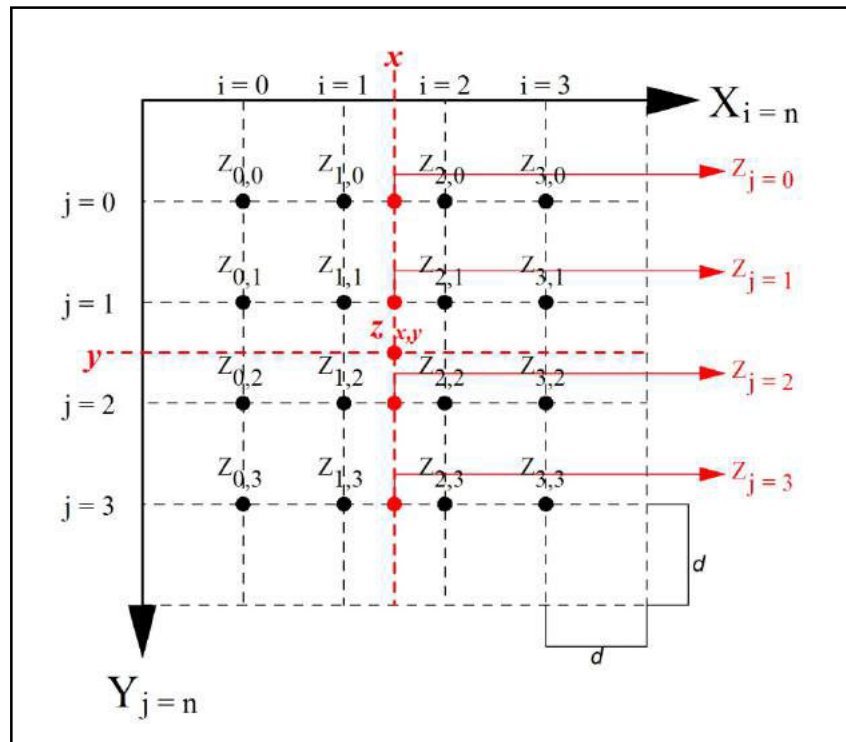


Figura 30. Explicación del algoritmo de la función bicúbica.

Fuente. Elaboración propia.

2.3.4.11. Aplicación de la interpolación de datos- Rejillado de una grilla

Analizando la información de los puntos topográficos provenientes del archivo ALOS-PALSAR (acpite 2.3.4.4.) y el algoritmo de grilla (acpite 2.3.4.8.) se nota que la distancia entre los puntos topográficos es de 12.5 m, luego, se podrá reducir la distancia o resolución entre puntos a una distancia un poco menor, a 10 m para poder trabajar con una media exacta.

Para poder realizar lo anterior, se tiene la función rejilla. Esta función tiene por objetivo obtener una grilla topográfica de acuerdo como el usuario final desee:

¿ Con una separación de puntos en el eje x, eje y,

¿ Y determinar qué área tomar de la grilla original.

Esta función tiene como sustento la interpolación de datos que ya se ha explicado en el acápite 2.3.4.10. (Función Bicúbica) porque se trata de obtener valores requeridos entre datos existentes, tal como se muestra en la Figura 31 donde muestra a la izquierda una grilla con 16 puntos en color negro con una separación de puntos d' , luego se tiene la grilla luego de ejecutar la función Regrilla (a la derecha de la misma Figura). Esta nueva grilla tiene una separación de puntos d'' (siendo d'' mayor que 0 y menor que d'). Esta grilla tiene aparte de los 16 puntos originales en negro, 33 puntos nuevos en rojo:

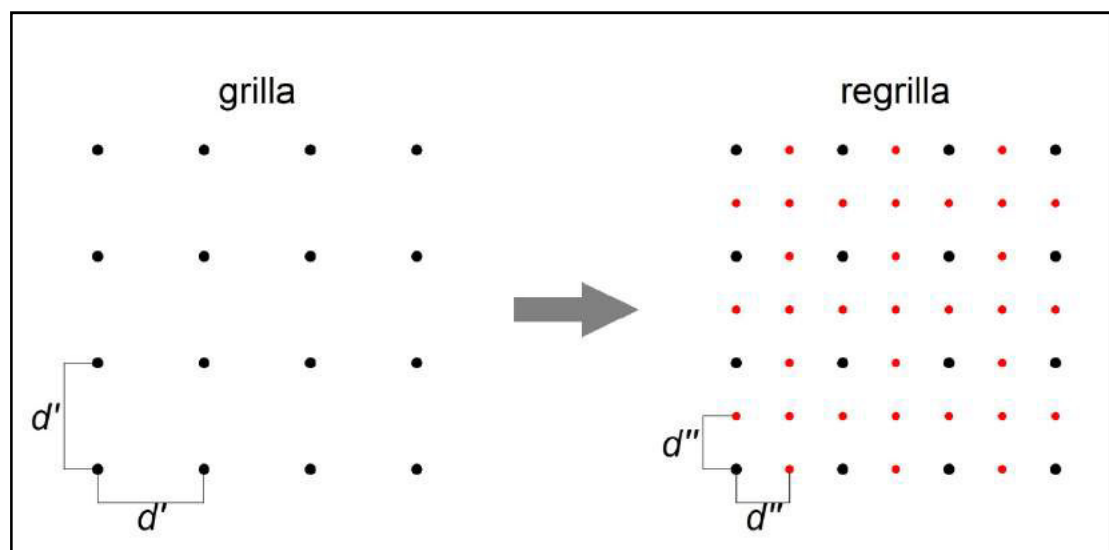


Figura 31. Función regrilla.

Fuente. Elaboración propia.

Cada punto interpolado es calculado según estas ecuaciones:

$$f(x, y) = \frac{1}{(d'' - d')^2} \left[(d'' - y)^2 f(x, 0) + (y - 0)^2 f(x, d') + 2(y - 0)(d'' - y) f(x, \frac{d' + d''}{2}) \right]$$

✓

$$f(x, y) = \frac{1}{(d'' - d')^2} \left[(d'' - x)^2 f(0, y) + (x - 0)^2 f(d', y) + 2(x - 0)(d'' - x) f(\frac{d' + d''}{2}, y) \right]$$

✓

En la òi èi òã se observa que proveniente de un punto preexistente,

se v

se calcula la coordenada x del nuevo punto, en la òi èi òã se observa la ecuaciòn para la obtenciòn de la nueva coordenada y (leer el acòpite 2.3.4.4., Figura 18 para observar sobre el signo negativo de la mencionada ecuaciòn). En la òi èi òã se observa que se obtiene la nueva altitud de acuerdo al punto formado por las coordenadas x_{nuevo} , y_{nuevo} .

2.3.4.12. Descripciòn de los Modelos Matemáticos para la caracterizaciòn de la Topografía

Correa Muñoz (2012); Gonálvez Simpes (1993); Gonzalo López y Osorio Amaya (2005); Mobayed Khodr (2001); Villegas Juárez (2007); Vinueza Pérez (2012) mencionan sobre el uso de las imágenes raster entre otros modelos de representaciòn de la topografía para la obtenciòn de parámetros topográficos por medio de la modelizaciòn de datos topográficos provenientes de la misma imagen tales como la Pendiente, Curvatura y la caracterizaciòn de las geoformas del relieve y las maneras de interpolaciòn de datos para obtener la continuidad de la informaciòn topográfica (aunque Gonzalo López y Osorio Amaya (2005) solo mencionan para casos de datos topográficos con distribuciòn irregulares o no matricial en diferencia con la grilla regular o matricial que presenta esta investigaciòn).

Para la obtenciòn de las variables Topográficas como Pendiente, Orientaciòn, Curvatura y Rugosidad, se usan modelos matemáticos que nos ayuden a obtenerlos (Felicísimo, 1994; Olaya Ferrero, 2004). Dichos modelos se basa en teniendo un punto cualesquiera sobre la superficie de la grilla de puntos topográficos, se calcula los 8 puntos más pròximos usando la Funciòn Bicúbica (formando una sub grilla de 3×3 puntos: 3 puntos en la horizontal y 3 puntos en la vertical) y por diferencia de altitudes y usando la distancia entre puntos se logra obtener dichas variables (ver Figura 32, Figura 33 y Figura 35).

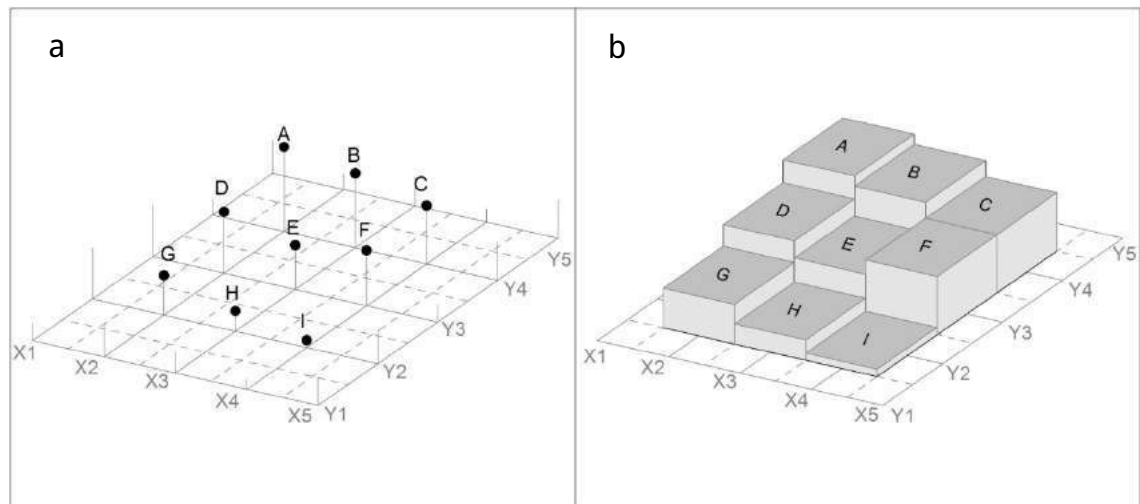


Figura 32. Muestra del cálculo de la pendiente y orientación.

Fuente. Elaboración propia.

En la Figura 32 se muestra el cálculo de la pendiente, donde 'a' se muestran los puntos topográficos de una grilla de puntos y en 'b' su representación como cuadrados para un mejor entendimiento (cada punto en 'a' está en el centro de cada cuadrado en 'b'). Se utilizan las siguientes ecuaciones para el cálculo de la pendiente:

Calculo de la tasa de cambio en la dirección X para la celda central E:

$$\text{Pendiente}_X = \frac{(Z_{D+E} - Z_{G+I})}{(X_D + X_E - X_G - X_I)} \times \frac{1}{2} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Calculo de la tasa de cambio en la dirección Y para la celda central E:

$$\text{Pendiente}_Y = \frac{(Z_{D+E} - Z_{H+F})}{(Y_D + Y_E - Y_H - Y_F)} \times \frac{1}{2} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Luego:

$$\text{Pendiente} = \sqrt{\text{Pendiente}_X^2 + \text{Pendiente}_Y^2} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde la Pendiente está expresada en grados sexagesimales, y se hace necesaria la multiplicación del resultado de la función Arco Tangente (cuyo resultado es en radianes) por 57.29578 para ello.

De acuerdo con el Manual para la evaluación de riesgos originarios por inundaciones fluviales del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED (2014) muestra la categorización de la pendiente según Van Zuidam como se muestra en el Cuadro 2:

Cuadro 2. Clases de pendiente, Van Zuidam

Clase de pendiente (°)	Condiciones del terreno
0 - 2	Planicie, sin denudación apreciable.
2 - 4	Pendiente muy baja, peligro de erosión.
4 - 8	Pendiente baja, peligro severo de erosión.
8 - 16	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro de erosión severo.
16 - 35	Pendiente fuerte, deslizamiento denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos.
35 - 55	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible.
> 55	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada.

Fuente. CENEPRED (2014).

En la Figura 32 se muestra el cálculo de la orientación, donde 'a' se muestran los puntos topográficos de una grilla de puntos y en 'b' su representación como cuadrados para un mejor entendimiento (cada punto en 'a' está en el centro de cada cuadrado en 'b'). Se utilizan las siguientes ecuaciones para el cálculo de la orientación:

Cálculo de la tasa de cambio en la dirección X para la celda central E:

$$\frac{(Z_{E+1} - Z_{E-1})}{(X_{E+1} - X_{E-1})} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Cálculo de la tasa de cambio en la dirección Y para la celda central E:

$$\frac{(Z_{E+1} - Z_{E-1})}{(Y_{E+1} - Y_{E-1})} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Luego:

$$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi} \quad \text{--- (1)}$$

$$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi} \quad \text{--- (2)}$$

Donde la Orientación está expresada en grados sexagesimales, y se hace necesario la multiplicación del resultado de la función Arco Tangente (cuyo resultado es en radianes) por 57.29578 para ello. La función \tan^{-1} queda definida de la siguiente manera (Wikipedia, 2016):

	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$
	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$
$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$
$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$
$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$
$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$	$\frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}$

Los resultados posibles del algoritmo de la orientación se muestran en el Cuadro 3:

Cuadro 3. Valores de la Orientación

Orientación (°)		Descripción
	-1	Llano
0	22.5	Norte
22.5	67.5	NorEste
67.5	112.5	Este
112.5	157.5	SurEste
157.5	202.5	Sur
202.5	247.5	SurOeste
247.5	292.5	Oeste
292.5	337.5	NorOeste
337.5	360	Norte

Fuente. Valores tomados de ESRI ÷ (2016c)

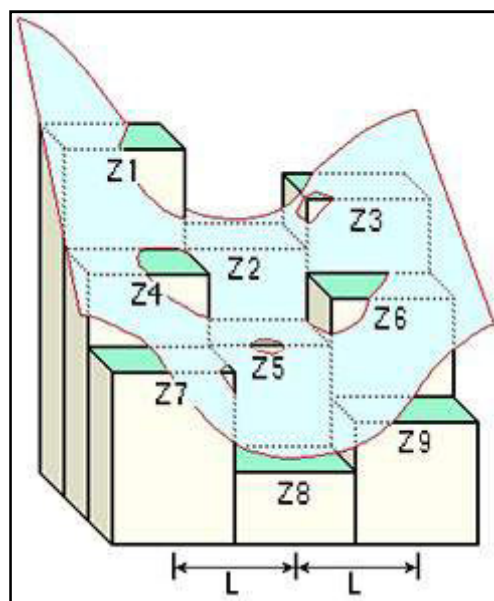


Figura 33. Explicación de la curvatura.

Fuente. Tomado de ESRI ÷ (2016d).

De acuerdo con Felicísimo (1994) los valores obtenidos son reducidos y recomienda multiplicar por un factor adecuado, quizá por esta razón, la σ se encuentra multiplicada por -2 y 100.

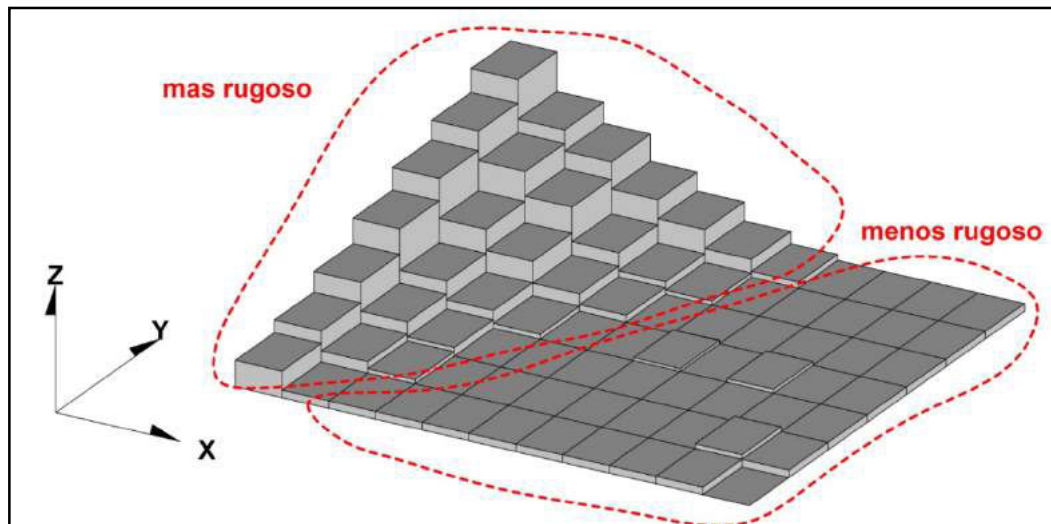


Figura 35. Muestra del c@culo de la rugosidad.
Fuente. Elaboraci@n propia.

La Figura 35 se muestra una superficie donde se observa una parte m@s rugosa y otra menos rugosa. Esta rugosidad puede quedar definida en funci@n de la Pendiente y de la Orientaci@n:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1}$$

WV

\$ dāí ð⇒

$$\frac{\partial z}{\partial y} = \frac{z_2 - z_1}{y_2 - y_1}$$

WV

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1}$$

WV

Siendo P la Pendiente y A la Orientación, dividido entre 9 que es la cantidad de puntos que intervienen (Felicísimo, 1994). Las unidades de la rugosidad, se sugiere por parte del investigador, se deben de tomar como adimensionales donde los valores mayores indican una alta rugosidad y los valores menores como baja rugosidad.

2.3.4.13. Descripción del Modelo Matemático para la caracterización de la Cuenca Visual

Felicísimo (1994) menciona el uso de los Modelos Digital de Terreno para la caracterización de la Cuenca Visual, lo que implica que dos puntos estén conectados visualmente. En forma resumida, para determinar la Cuenca Visual, se utilizara la siguiente metodología:

- a) Primero es establecer un punto sobre la superficie de la grilla de datos topográficos que sea de interés para el análisis visual (que lo llamaremos Punto Base).
- b) Se inicia el recorrido leyendo cada punto que conforma la grilla de puntos topográficos, comenzando desde la esquina superior derecha y finalizando en la esquina inferior izquierda.
- c) Si el punto que se lee no es visible para el Punto Base, entonces dicho punto no forma parte de la Cuenca Visual, en cambio, si el punto que se lee es visible, si forma parte de la Cuenca Visual.
- d) Para determinar si un punto que se lee es visible o no por el Punto Base se determina usando un Perfil Topográfico, que muestra los desniveles de las altitudes entre dos puntos. Si entre el Punto Base y el punto que se lee no se interpone el Perfil Topográfico, entonces ambos puntos son visibles.

Felicísimo (1994) también menciona que se puede realizar determinaciones de Cuencas Visuales más rápidas si se definen áreas específicas (dentro de la grilla de puntos topográficos) ya que este tipo de análisis supone un gran número de análisis entre el Punto Base y cada

punto de la grilla de puntos topográficos (que implicaría un ahorro en tiempo). En la Figura 36 se muestra un perfil topográfico donde está ubicado el punto A y se desea si existe contacto visual con el punto B. Luego se observa que ninguna altitud del perfil topográfico no interrumpe la línea de contacto visual y se establece que los puntos A y B son visibles entre sí. En cambio, Para los puntos C y D, las altitudes del perfil topográfico interceptan la línea visual entre ambos puntos y se establece que los puntos C y D no son visibles entre sí. La Figura 37 muestra el desarrollo de la Cuenca Visual aplicando la condición de visualización de dos puntos: Se muestra el punto 1 con una altitud de 100 metros, todos los puntos que cumplan la condición mostrada en la Figura 36 para que formen parte de la cuenca visual. Se observa una colina (se ve que hay valores altos) y hace que el punto 3 (y los demás puntos a su alrededor) no sean visibles. Hacia el punto 2 se ve que los valores de altitud se incrementa de manera progresiva haciendo que el punto 2 y los demás puntos al alrededor sean visibles con respecto al punto 1.

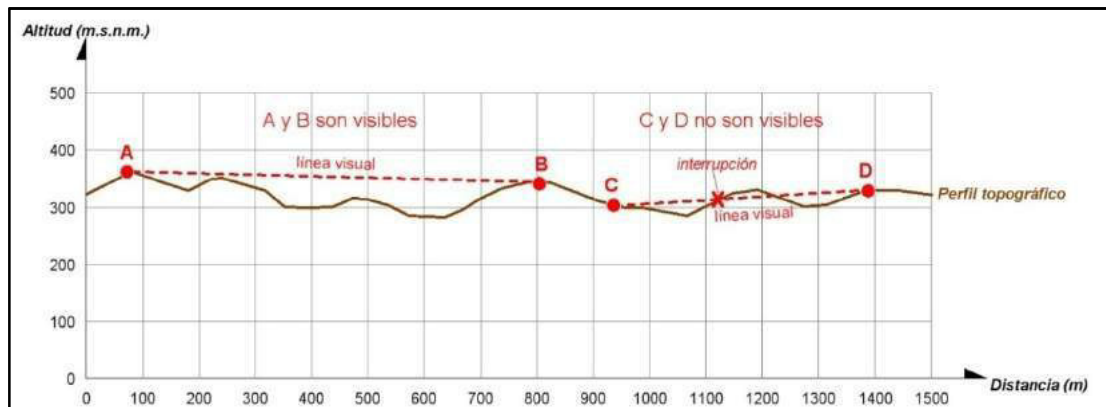


Figura 36. Explicación de la condición de visualización de dos puntos.
Fuente. Elaboración propia.

Luego se evalúa para cada valor de $\tan \alpha_n$ y el menor de ellos se toma como la ruta del flujo de agua. El valor de n va desde 1 hasta 8, siendo los ocho puntos que rodean al Punto₀.

2.3.4.15. Caracterización de la dificultad de v°as de acuerdo a la topografía

Siendo una v°a una superficie lineal (su longitud es mayor que su ancho) se propone los siguientes criterios para representar sus características:

¿ Análisis de la pendiente que represente la diferencia de altitudes de dos puntos a lo largo de la v°a, entendiéndose como la pendiente longitudinal;

¿ Análisis de la pendiente que represente la diferencia de altitudes del ancho de la v°a, entendiéndose como la pendiente transversal;

¿ Tipo de superficie que esté en la v°a: asfaltado, afirmado, sendero, entre otros.

Estas características pueden sugerir la dificultad que ofrece una v°a al ser recorrido entre sus tramos que está compuesta, quedando estimada con la siguiente ecuación:

$$D_{v^{\circ}a} = \frac{D_{pav} + D_{pendL} + D_{pendT}}{3} \quad \text{donde}$$

Donde:

D_{pav} , D_{pav} es la pendiente a lo largo del tramo de la v°a

D_{pendL} , D_{pendL} es el tipo de pavimento del tramo de la v°a

D_{pendT} es el ancho del tramo de la v°a.

El resultado es la dificultad para cada tramo de la v°a, luego se toma la suma de la dificultad de los tramos:

$$D_{v^{\circ}a} = \sum_{i=1}^n D_{v^{\circ}a_i} \quad \text{donde}$$

Área urbana (cuenca media y alta). Para la presente investigación se le conocen como Sendero_ (ver Figura 41, Punto 10 ubicado en el Mapa 15 y Mapa 16).

Luego, para la investigación se tiene la siguiente tabla para cada tipo de pavimento (Cuadro 4):

Cuadro 4. Valoración del tipo de pavimento

Clasificación por demanda	Nombre común	Valoración
Carreteras de Tercera Clase	Asfaltado	3
Trochas Carrozables	Afirmado	2
Sendero	Sendero	1

Fuente. Elaboración propia.



Figura 39. Punto 8: Muestra de un sendero en la cuenca media de Pedregal.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 40. Punto 6: Muestra de una carretera de tercera clase (asfaltado) en Pedregal. (Av. Tʼʼpac Amaru en Pedregal).

Fuente. Elaboración propia.



Figura 41. Punto 10: Muestra de una trocha carrozable (afirmado) en la cuenca media de Pedregal.

Fuente. Elaboración propia.

2.3.4.16. Parametrización y Comprobación de los modelos matemáticos

Para su mejor rendimiento y evitar algunos errores, algunos modelos pueden ser parametrizados (que vendrá a ser una personalización del modelo matemático mediante el ingreso de valores promedios para un filtrado o selección de la información). Los resultados de los modelos matemáticos y algoritmos serán:

- a) Analizados en gabinete y comprobados en la quebrada el Pedregal;
- b) Comprobación de los resultados en el acápite 4.1.2 (Discusión de los resultados) y de la interpolación bicúbica con el software ArcGIS (ver Anexo IV) y.

2.3.5. Poblamiento del distrito de Lurigancho-Chosica. Necesidad de aplicar una Zonificación Ambiental Territorial en la quebrada el Pedregal

2.3.5.1. Poblamiento del distrito de Lurigancho-Chosica y de las zonas circundantes y descripción socioeconómica

La ciudad de Chosica fue creada como una especie de balneario de invierno de Lima, fue el primero en su género, pero con el pasar de los años, sobre todo entre las décadas 50 y 60, Chosica se fue poblando y dejó de ser una ciudad de descanso y pasó a ser un distrito poblado por migrantes. Se puede dividir el crecimiento de Chosica en cuatro etapas:

- a) Primeras poblaciones y su fundación (1870 - 1920);
- b) Extensión de Chosica dentro de un límite establecido (1921 - 1930);
- c) Las barriadas y la población de la margen izquierda (1931 - 1960);
- d) La ciudad expansiva actual y los pueblos jóvenes.

Es que a partir del año 1940 con la aparición de barriadas y pueblos jóvenes, se pierde el esquema ortogonal que se tenía planeado en Chosica (planeado desde el momento de su fundación el 13 de octubre de 1894). Los nuevos pobladores llegaron a invadir los cerros aledaños y por ende las quebradas, perdiendo el orden que ya estaba previsto (Barcia Nishikata, 2006).

Finalmente, socioeconómicamente hablando y de acuerdo al Mapa de Pobreza Provincial y Distrital 2009 del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2010), la pobreza en el distrito de Lurigancho - Chosica en el 2009 quedó registrada, y según su población en:

- a) Población pobre (24.4%): que se divide en extrema pobreza con 1.3% y no extrema con 23.0%;
- b) Población no pobre (75.6%).

2.3.5.2. Uso del suelo del distrito de Lurigancho-Chosica

Según el Mapa de peligros y plan de usos del suelo y medidas de mitigación antes desastres de la ciudad de Chosica (Proyecto Instituto Nacional de Defensa Civil, INDECI - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PUNUD, 2005), la superficie de la ciudad de Chosica tiene una extensión de 783.91 has, la cual se observa un uso intensivo del suelo con existencia de áreas rurales y semirústicas (ver Mapa 2).

En la distribución de los Usos del Suelo Urbano tenemos:

- a) Uso residencial, con el 42.6% del área ocupada, se observa mayormente en ambas márgenes del río Rímac y en el área central, asimismo se observa emplazamientos informales en zonas de laderas de fuerte pendiente, quebradas y cavas (véase que es información del año 2005 y es posible que algunas de estos emplazamientos ya hayan sido formalizados y el porcentaje mencionado haya aumentado);
- b) Equipamiento urbano, con el 12.8 %, de los cuales se disgrega en Educación (6.2%), Salud (0.2%), Recreación y Parque Zonal (6.4%). Todos los mencionados se encuentran dispersos en la ciudad observándose una mayor concentración entorno al centro de la ciudad;
- c) Recreacional privado, con el 5.7%, que lo constituyen por las instalaciones recreacionales promovidos por personas o empresas privadas;
- d) Vivienda huerto, con un 3%, que se encuentran en el entorno de la quebrada la Ronda y que constituyen lotizaciones semirústicas cercadas destinadas a actividades de producción agrícola de sustento;
- e) Otros usos, que se caracteriza por ubicarse infraestructura institucional como Congregaciones Religiosas;
- f) Comercio, con un 2.2% donde están los Comercios con 2.0% e Industrias con 0.2% y mayormente concentrados alrededor de la Carretera Central.

Como un dato adicional las estructuras de vivienda o negocio que se encuentran en Chosica lo podemos dividir en:

- a) Materiales y sistemas constructivos preponderantes:

¿ Ladrillo confinado (83.8%), implica el uso de columnas y vigas, entre otros materiales;

¿ Ladrillo no confinado (5.7%), implica que no se usa columnas, ni vigas;

¿ Adobe (6.2%).

b) Número de pisos de la edificación:

¿ 2 a 3 pisos (56.0%), encontrados en el casco central, a lo largo del eje de la Carretera Central y a las partes bajas de las quebradas;

¿ 1 piso (43.8%), encontrados en las partes altas de las quebradas Quirio y Pedregal, y a urbanizaciones populares.

c) Estado de la edificación:

¿ Buen estado (39.8%), ubicados al oeste de Chosica (urbanizaciones Santa María, La Cantuta, entre otras);

¿ Regular estado (54.2%), ubicados en la parte baja de las quebradas Quirio, Pedregal, entre otras encontradas en Chosica.

2.3.5.3. Peligros encontrados en las quebradas circundantes del distrito de Lurigancho-Chosica.

De acuerdo con Villacorta et al (2015), uno de los peligros más comunes en zona de quebradas en el distrito de Lurigancho - Chosica son los flujos de detritos (comúnmente conocidos como huaicos) por la presencia de viviendas y actividad humana en dichas quebradas.

Igualmente mencionan una serie de eventos de esta naturaleza:

a) En 1909 y 1925 se activaron las quebradas Quirio, San Antonio;

b) El 15/01/1970 y el 30/01/1976 se activaron las quebradas Quirio y San Antonio;

c) El 01/04/1983 se activó la quebrada Cashahuacra;

d) El 09/03/1987 se presentaron 5 huaycos: quebradas Quirio, Pedregal, Carossio, Corrales y Cashahuacra. O'Connor (1988) realiza su trabajo de tesis de título al respecto definiendo un área afectada en la quebrada el Pedregal (Mapa 3).

- e) En febrero del 2009 un pequeño huayco cobro una víctima en la zona de Quirio, además que las grandes cantidades de lodo y piedras bloquearon las calles y vías;
- f) El 05/04/2012 se activaron las quebradas Pablo Patrón/Dos Amigos, La Cantuta, Santo Domingo, Coricancha y los Cárdenos;
- g) En marzo del 2015 se activaron las quebradas Pedregal, Carossio, Rayos de Sol, Quirio, San Antonio, California, La Trinchera, Buenos Aires, La Cantuta, Moyopampa, La Libertad y Mariscal Castilla.

Muy aparte de estos peligros, existen otros como las caídas de bloques de roca, que por inspección ocular se puede constatar.

Agregando lo anterior, el Proyecto INDECI - PUNUD (2005) en su Mapa de peligros y plan de usos del suelo y medidas de mitigación antes desastres de la ciudad de Chosica nos hace una síntesis de su evaluación de riesgo de la ciudad de Chosica, de las cuales se cita:

- a) El 67% de la población y el 41% del área urbana de Chosica se encuentran en situación de Riesgo Alto;
- b) Existe un emplazamiento crítico de gran número de viviendas amenazadas por activación de quebradas y cárcavas;
- c) Estrechamiento de cauce de quebradas de gran volumen de descarga, debido a supuestas obras de defensa que intensificarían la inundación de viviendas aledañas;
- d) Emplazamiento crítico de viviendas, debido a ocupación de los aires por cables de energía eléctrica de alta tensión;
- e) Edificaciones de viviendas en el cono defectivo de la quebrada Carossio, las que estarían expuestas a inundación en épocas de lluvias;
- f) Cono defectivo de quebrada La Ronda se encuentra ocupado por viviendas, las que se encontrarían amenazadas por inundación.

De acuerdo con Carrillo & Guadalupe (2012) estos eventos son fenómenos geológicos recurrentes especialmente en la zona de Chosica. De igual manera los mismos citados mencionan que un huaico comienza con la meteorización física, química y biológica de las rocas más el fallamiento y

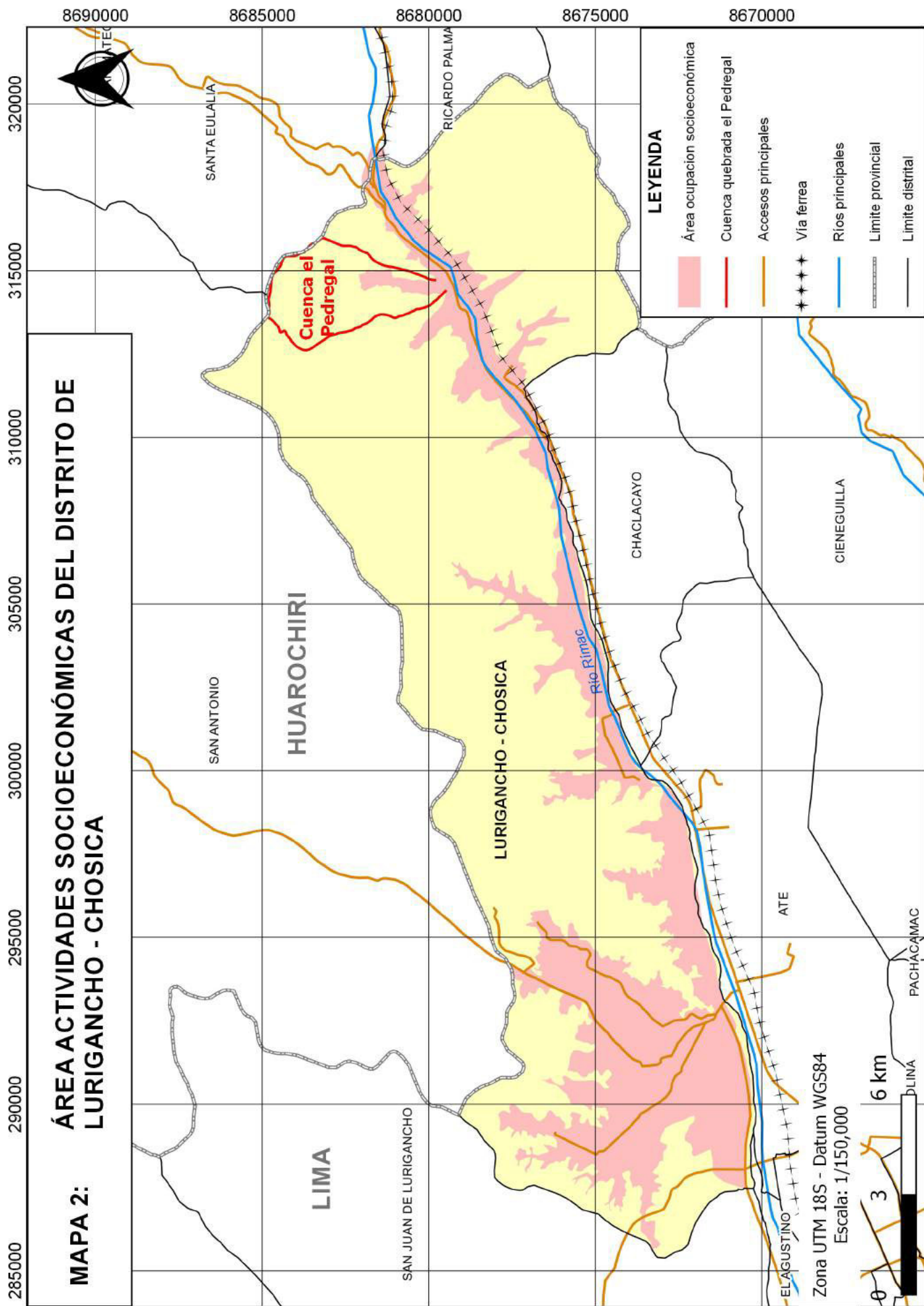
fracturamiento de las mismas rocas provocado por la disyunción esferoidal que hace que las rocas de mayor tamaño pasen a ser arenas y arcillas; y a su vez por la erosión y transporte debido a las lluvias intensas y de corto tiempo hacen que se formen los flujos de lodo que discurren por las quebradas, cárcavas y desembocando en zonas de las viviendas o de alguna actividad socioeconómica.

2.3.5.4. Posibles aportes de una Zonificación Ambiental Territorial en base a modelos matemáticos en la quebrada el Pedregal

Como se ha expuesto, una Zonificación Ambiental Territorial usando modelos matemáticos puede aportar en el ordenamiento territorial, identificando:

- a) Las zonas propensas por posible flujo de detritos y conducidos por corrientes de agua;
- b) Ubicación de objetos y fenómenos que ocurren en la cuenca de la quebrada el Pedregal;
- c) Descripción de la topografía, y
- d) Simulación de eventos naturales por medio de los modelos matemáticos como el flujo de agua sobre la topografía. Gracias también a la simulación se puede personalizar los modelos matemáticos de acuerdo a las necesidades de análisis del investigador cambiando las condiciones de funcionamiento de los mencionados modelos matemáticos.

Toda esta información es usada como insumo para el análisis para obtener un ordenamiento territorial acorde con la realidad de la quebrada el Pedregal.



2.3.5.5. Descripción de la cuenca de la quebrada el Pedregal

La entrada de la cuenca de la quebrada el Pedregal se encuentra ubicada en la Carretera Central en la avenida Lima Sur cuadra 11 (ver en el Mapa 15 y Mapa 16 en el Punto 1). Dicha cuenca está ubicada entre las siguientes coordenadas UTM, zona 18S datum WGS48:

Este: 316,043 - 312,639

Norte: 8 684,944 - 8 679,021



Figura 42. Punto 1: Cauce de la quebrada el Pedregal en la Carretera Central.

Fuente. Elaboración propia.

La cuenca de la quebrada el Pedregal cubre un área aproximado de 10.24 km².

De acuerdo con la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2010) la cuenca de la quebrada el Pedregal está ubicada hidrológicamente en la cuenca del río R^omac, sub cuenca del Jicamarca - Santa Eulalia y está cubierto por dos zonas de vida, las cuales son: desierto per^orido - Premontano Tropical (dp - PT) que cubre desde la entrada de la cuenca hasta parte de la cuenca alta y

el matorral desértico - Montano Bajo Tropical (md - MBT) que cubre parte de la cuenca alta. De acuerdo con el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1992) y citado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2012), esta zona del distrito de Lurigancho - Chosica se emplaza sobre afloramientos ígneos del grupo Santa Rosa que se encuentran constituidos por cuerpos tonalítico-dioríticos y tonalítico-granodioríticos dentro del Batolito de la Costa y también por afloramientos ígneos del grupo Patap constituidos por cuerpos gabros-dioritas del Cretáceo Superior. Estos cuerpos mencionados se encuentran cubiertos por depósitos aluviales pertenecientes al Cuaternario Pleistoceno y al Cuaternario Reciente.

En la cuenca baja hasta parte de su cuenca media se aprecia urbanizaciones tales como la 'Asociación Pro Hogar Propio San Miguel del Pedregal', 'San Antonio de Pedregal', 'Bosque Concordia' y 'José Gálvez' ubicados en la cuenca baja, mientras en la cuenca media están en pleno desarrollo la 'Asociación de Vivienda Residencial La Planicie de Chosica'.

Tiene como vías principales a la avenida Túpac Amaru (la cual desemboca en la Carretera Central) siendo una avenida longitudinal que sirve como eje de entrada hacia la entrada de la cuenca media. Otras vías principales son las avenidas longitudinales José Gálvez, José Santos Chocano, Circunvalación, Los Incas y el Bosque; y como avenidas transversales están las avenidas Trujillo Sur, Simón Bolívar, José Antonio de Sucre, Miguel Grau, Bolognesi, Unión, los Olivos, Jorge Chávez, Carrión y las Palmeras.

Tiene un centro cívico ubicado entre las avenidas Alfonso Ugarte, Túpac Amaru, Bolognesi y José Santos Chocano; donde está el centro de salud 'San Antonio de Pedregal', la institución educativa inicial San Antonio Chosica 145. Muy cerca de ahí (avenida José Santos Chocano) está la capilla 'San Antonio' y la institución educativa Mariscal Andrés Bello Caceres. Existen locales comunales como comedores comunales en la cuenca baja.



Figura 43. Centro Cívico de San Antonio de Pedregal.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 44. Escalera en la cuenca baja de Pedregal sobre canal de c@rcava.

Fuente. Elaboración propia.

También se observan escaleras que est n de forma transversal de la avenida Túpac Amaru (Figura 44).

A lo largo de sus vías se pueden encontrar bolsas de arenas para la contención de los eventos aluvionales que suelen suceder en la temporada de verano. También se observa en lo que sería el límite entre la cuenca baja y media un cementerio.



Figura 45. Bolsas de arenas en Pedregal.

Fuente. Elaboración propia.

En la cuenca media se puede observar el proceso de ocupación de terrenos (hay marcas de lotización en el suelo), marcas de camionetas en las vías afirmadas que indican actividad de transporte de personas y material para la construcción de viviendas precarias (maderas, calaminas y esteras). También se observa marcas de caballos y mulas para el transporte de personas y diversos materiales.



Figura 46. Lotización de terrenos en la cuenca media de Pedregal.

Fuente. Elaboración propia.

En la cuenca alta se encuentra cubierto mayormente de una especie vegetal conocida como 'huancoi' (*Orthopterygium huaucui*). Entre las especies animales se observa lagartijas en toda la cuenca y palomas en su mayoría, y animales domésticos como perros, gatos, gallinas, caballos y mulas (cuenca media y alta).

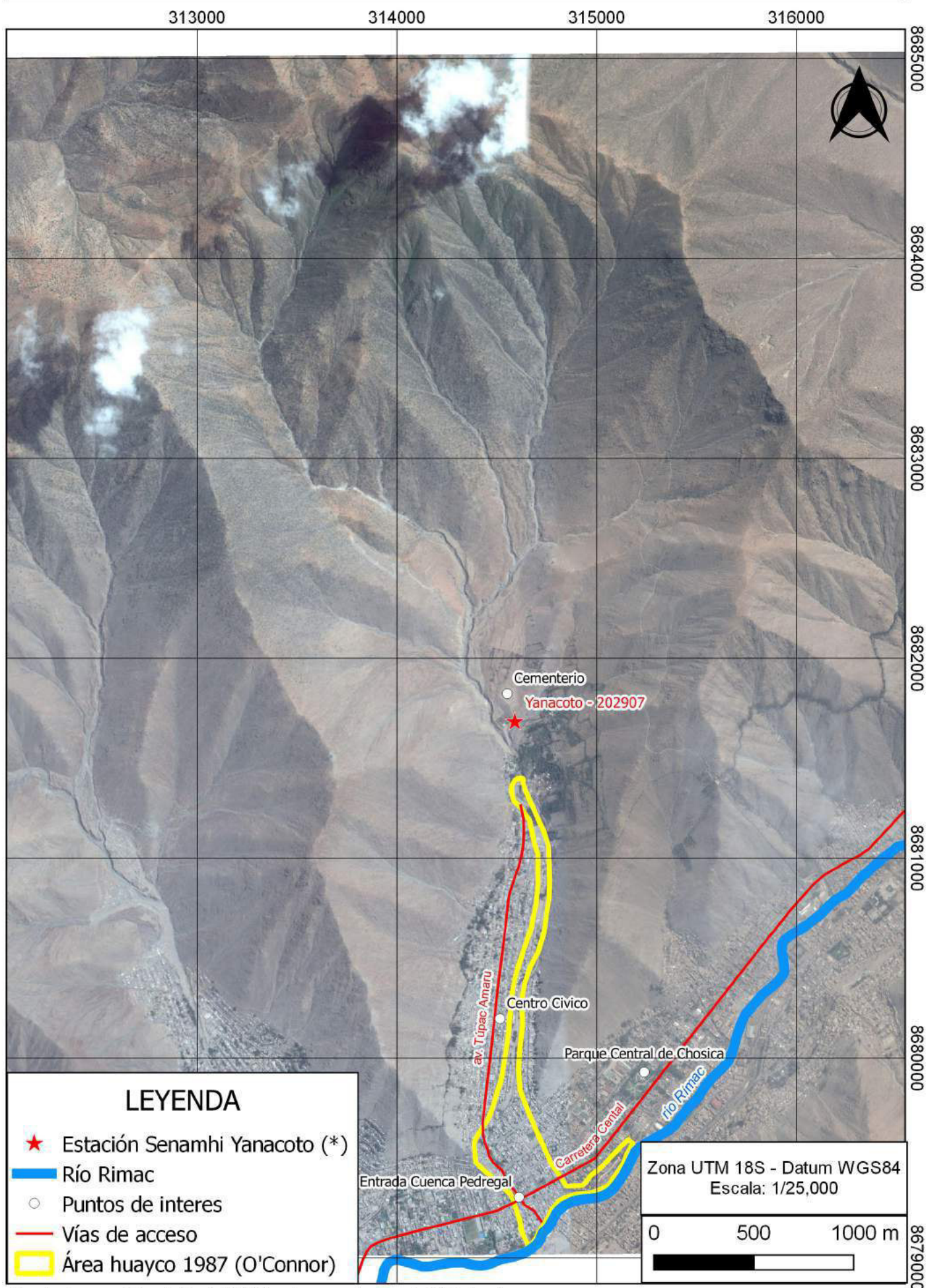


Figura 47. Erbol de huancoi en la cuenca alta de Pedregal.
Fuente. Elaboraci3n propia.



Figura 48. Malla para la contenci3n de huaycos.
Fuente. Elaboraci3n propia.

MAPA 3: CUENCA DE LA QUEBRADA EL PEDREGAL



Fuente imagen: Google Earth (2014) y descargado usando SASplanet

(*) Se asume que las coordenadas de origen de la estación Yanacoto (11° 55' 1" S, 76° 42' 1" W) esta en PSAD56.

CAPITULO 3: METODOLOGIA

3.1 Hipótesis general

Los modelos matemáticos proponen una zonificación ambiental territorial en la cuenca de la quebrada el Pedregal, Lurigancho - Chosica, Lima.

3.2 Hipótesis específicas

3.2.1 La interpolación bicúbica remuestrea adecuadamente la altitud topográfica de una cuenca.

3.2.2 Los modelos matemáticos describen adecuadamente las características topográficas de una cuenca.

3.3 Identificación de variables

Las variables identificadas en la hipótesis general y en las hipótesis específicas para el presente trabajo de investigación son (Cuadro 5):

Cuadro 5. Identificación de variables

Hipótesis	Variables	Tipo
General	Modelos matemáticos.	Independiente
	Zonificación ambiental territorial.	Dependiente
Específica	La interpolación bicúbica.	Independiente
	Altitud topográfica de una cuenca.	Dependiente
Específica	Modelos matemáticos.	Independiente
	Características topográficas de una cuenca.	Dependiente

Fuente. Elaboración propia.

3.4 Operacionalización de variables

La operacionalidad de las variables ser@ como indica el Cuadro 6, mientras los ítems est@ declarados a continuaci@:

1. Sentencias l@gicas y matem@icas que representan un modelo matem@ico y generan como resultado un archivo raster o un archivo shapefile.
2. Archivo de imagen que contiene el resultado de los modelos matem@icos.
3. Operaci@ matem@ica que dado valores conocidos da un valor por conocer.
4. Calcula la distancia perpendicular desde el punto conocido hacia la superficie te@rica cuyo nivel seria el elipsoide WGS 84.
5. Calcula el declive, en grados sexagesimales, de la topograf@a de una superficie entre dos puntos.
6. Calcula la orientaci@, en grados sexagesimales, de un punto sobre la topograf@a con respecto al norte geogr@fico.
7. Representa el grado de curvatura de una parte de la superficie topogr@fica donde los valores positivos es el lado convexo de una superficie esf@rica y ellos valores negativos es el lado c@ncavo de una superficie esf@rica.

8. Representa el grado de rugosidad sobre una superficie topográfica.
9. Forma de plasmar, en forma visual (cualitativamente y cuantitativamente), los modelos matemáticos para la descripción de un objeto o fenómeno de estudio.
10. Representa el thalweg por donde pasa un flujo de agua o un flujo aluvional sobre una superficie topográfica.
11. Representa la dificultad de una vía mediante la topografía, ancho de vía y la superficie de la misma.

Cuadro 6. Operacionalizaci3n de variables.

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM
Modelos matem3ticos.	Idealizaci3n matem3tica de alg3n fen3meno o realidad natural o cultural, o de alguna propiedad de una entidad que exista o que se manifieste en un determinado espacio y tiempo.	Algoritmos.	Archivo raster y archivo shapefile como resultados del algoritmo (programaci3n).	1
Zonificaci3n ambiental territorial.	Delimitaci3n de un 3rea por zonas con un enfoque ambiental usando modelos matem3ticos.	4 (cuatro) zonas.	Archivo raster con la zonificaci3n	2
La interpolaci3n bic3blica.	M3todo de remuestreo que utiliza 4 puntos con altitud conocida para la obtenci3n de un quinto punto intermedio y con altitud desconocida.	Ecuaci3n.	Resultados num3ricos de operaciones matem3ticas.	3
Altitud topogr3fica de una cuenca.	Es la altura de un punto desde su proyecci3n al elipsoide WGS 84.	Altitud.	Altura sobre el elipsoide WGS 84.	4
Modelos matem3ticos.	Idealizaci3n matem3tica de alg3n fen3meno o realidad natural o cultural, o de alguna propiedad de una entidad que exista o que se manifieste en un determinado espacio y tiempo.	Algoritmos.	Archivo raster y archivo shapefile como resultados del algoritmo (programaci3n).	1
Caracter3sticas topogr3ficas de una cuenca.	Es la descripci3n de una cuenca mediante su topograf3a.	Pendiente.	Grados sexagesimales.	5
		Orientaci3n.	Grados sexagesimales.	6
		Curvatura.	C3ncavo o convexo.	7
		Rugosidad.	adimensional	8
		Cuenca visual.	Visible o no visible	9
		Estimaci3n del thalweg.	Polil3nea como ruta del flujo de agua	10
		Dificultad de v3as.	Rango de valores que muestra la dificultad	11

Fuente. Elaboraci3n propia.

3.8 Tipo y Diseño de Investigación

De acuerdo con Felicísimo (1994) la utilidad de los modelos para conocer y predecir los resultados que arroja puede ser sometidos a la verificación experimental. Por lo tanto, se puede afirmar que el tipo de estudio es del tipo aplicada-experimental-: es aplicada por que se busca con el uso de los modelos matemáticos una descripción matemática de las características de los objetos y fenómenos existentes en la quebrada mencionada, una comprensión en el análisis espacial y contrastar resultados con otras metodologías de; y a su vez es experimental porque se manipular  los objetos que existen y los fenómenos que ocurren en la cuenca quebrada El Pedregal (simulación) como variables de modelos matemáticos para un mejor manejo e integración de los mismos y también se puede modificar ciertas variables de una manera cuantitativamente y ver su impacto en el análisis general. Los fenómenos o características de la quebrada El Pedregal serán explorados de forma cuantitativamente y cualitativamente de la siguiente manera:

- a) Remuestreo de datos, para la interpolación de datos topográficos usando la interpolación bic blica.
- b) Análisis espacial de algunos objetos y fenómenos naturales presentes en la quebrada el Pedregal (como la medida de la distancia de separación entre dos puntos)
- c) Observación y registro fotográfico en campo para el análisis de los objetos y fenómenos naturales que est n en la quebrada el Pedregal.
- d) Análisis de las descripciones de la información vectorial que se utilizarán en esta investigación.
- e) Contraste en campo de los resultados obtenidos de los modelos matemáticos para su análisis y discusi n posterior.

El grupo de control será la misma información topográfica de la cuenca de la quebrada el Pedregal pero utilizando la interpolación Topo to Raster_ del software ArcGIS (ESRI  , 2016e) como lo indica el Anexo IV.

Seguindo con Felicísimo (1994), menciona que el uso de un modelo M_x cualquiera se deduce una propiedad determinada, esta será previsible aplicable al objeto real X . El contraste experimental puede servir de mecanismo de realimentación para realizar ajustes, tanto en los elementos que componen el modelo como en las relaciones que se establecen entre ellos.

3.9 Unidad de análisis

El tamaño de la muestra será la cuenca de la quebrada el Pedregal, ubicada en el distrito de Lurigancho-Chosica, que cubre una extensión territorial de 10.24 km².

3.10 Población de estudio

Este estudio estará dirigido a los pobladores de la quebrada el Pedregal, a los clubes, organizaciones que tienen sus centros de acción en la misma quebrada, a la municipalidad distrital de Lurigancho-Chosica y a los investigadores y público en general que pueda tener en la metodología, resultados y conclusiones una referencia para sus trabajos de Ordenamiento Ambiental y de investigación.

3.11 Tamaño de muestra

Las muestras serán las variables topográficas como pendiente, orientación, curvatura y rugosidad, la variable paisajística de la cuenca visual, la determinación del talweg (flujo del flujo de agua), las vías encontradas y la localización de áreas existentes que estén contenidas en la cuenca de la quebrada el Pedregal.

3.12 Selecci3n de muestra

Se decidi3 la cuenca de la quebrada el Pedregal como parte de esta investigaci3n porque existe una poblaci3n que est3 comenzando a asentarse en la cuenca media de la mencionada quebrada y que viene siendo afectada por la geodin3mica propia de esta quebrada; por su cercan3a para facilitar el contraste de los datos obtenidos por los modelos matem3ticos y lo que realmente existe en cuenca; porque se tiene datos de forma gratuita para su an3lisis (topogr3ficos m3s que nada), haci3ndolo ideal para esta investigaci3n. Dentro de la misma cuenca se utilizara como grupo experimental y grupo de control para el an3lisis y discusi3n de los resultados (de acuerdo a lo mencionado al ac3pite 3.8.).

3.13 T3cnicas de recolecci3n de Datos

Ver Anexo I (Procedimiento de la toma de datos en la cuenca de la quebrada el Pedregal).

3.14 An3lisis e interpretaci3n de la informaci3n

Todos los algoritmos mostrados que representan a los modelos matem3ticos han sido escritos en lenguaje C++ y los resultados como se indican son im3genes raster y archivos vectoriales y mencionados en cada algoritmo mostrado. Dichos resultados son insumo para la elaboraci3n de los mapas mostrados en este trabajo usando el programa QGIS. En el Anexo III (Dise3o de los algoritmos que representen a los Modelos Matem3ticos) se puede ver los algoritmos utilizados para esta investigaci3n.

CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados

4.1.1. Análisis e interpretación de los resultados de los modelos matemáticos

La grilla de la Altitud interpolada contiene 237009 puntos y tiene un rango de 837.83 a 2355.83 y un promedio de 1596.83 metros sobre el elipsoide WGS84. Se determina que 154297 puntos están debajo del promedio (inclusive) mientras que 82712 puntos están encima del promedio dando una razón de 1.87 entre ambos rangos y esto indica que la topografía de esta zona es muy activa debido a la geodinámica de la quebrada el Pedregal.

La grilla de la Pendiente contiene 239001 puntos y tiene un rango de 0 a 89.9° con un valor nominal de 8° que de acuerdo a Van Zuidam (1986) y citado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED (2014) como el valor máximo de pendiente baja, peligro severo de erosión, se determina que 20191 puntos están debajo del valor nominal (inclusive) mientras que 218810 puntos están encima del valor nominal siendo esta última casi 10 veces que los valores debajo del valor nominal indicando que la topografía de la quebrada el Pedregal es muy abrupta en sentido de la pendiente.

La grilla de la Orientación contiene 239001 puntos y tiene un rango de 0.009 a 360° con un valor nominal de 180° como promedio. Del promedio se determina que 105367 puntos están debajo del valor nominal (inclusive) mientras que 133634 puntos están encima del valor nominal dando una razón de 0.79.

La grilla de la Curvatura contiene 235025 puntos y tiene un rango de -16.9646 a 13.2308 con un valor nominal de 0 como promedio. Del promedio

se determina que 119790 puntos están debajo del valor nominal (inclusive) que indica una superficie cóncava mientras que 115235 puntos están encima del valor nominal e indicando una superficie convexa, dando una razón de 1.04 indicando una casi paridad de las superficies cóncavas y convexas de la topografía.

La grilla de la Rugosidad contiene 236605 puntos y tiene un rango de -22E-16 a 0.51 con un valor nominal de 0.01 del cual se determina que 220555 puntos están debajo del valor nominal (inclusive) mientras que 16050 puntos están encima del valor nominal dando una razón de 13.74. Fijando el valor de 0.01 como indicador que todos los valores debajo de él (inclusive) tienen menos rugosidad, se concluye que el área de trabajo está muy afectada por eventos que afectan a su rugosidad alisando la superficie de la topografía.

La grilla de la Cuenca Visual contiene 241001 puntos y tiene dos valores posibles: 1 (uno) para un valor que es visible de los cuales existen 101385 puntos y 0 (cero) para un valor que no es visible y existiendo 139616 puntos. Entre el número de puntos visibles y no visibles existe una razón de 1.38, pero la cantidad de puntos visibles está mayormente en la cuenca el Pedregal, mientras que la mayor cantidad de puntos no visibles están fuera de la mencionada cuenca.

La Dificultad de vías contiene 881 líneas con un rango de valores desde 0.003 hasta 12.70 con un promedio de 6.35. Del promedio se determina que 711 líneas están debajo del promedio indicado (inclusive) mientras que 170 líneas están encima del promedio indicando que para esta topografía las líneas que representan partes de vías se les puede considerar como accesibles concentrándose en la cuenca baja donde está asentada la población con vías con capa asfáltica y anchos de vías de 4 o 5 m, y los valores mayores están en la cuenca alta con una superficie del tipo sendero y anchos de 1 m o un poco más de este valor.

Cuadro 7. Análisis de datos de los resultados de los modelos matemáticos.

Resultado	Numero celdas / líneas	Unidad	M ⁿ imo	M ^a ximo	Promedio, valor nominal	Numero celdas debajo promedio	Numero celdas encima promedio	Raz ^a /ñ
Altitud	237009	Metros sobre el elipsoide WGS84	837.83	2355.83	1596.83	154297	82712	1.87
Pendiente	239001	grados	0	89.91	8	20191	218810	0.09
Orientación	239001	grados	0.009	360	180	105367	133634	0.79
Curvatura	235025	positivo o negativo	-16.96	13.23	0	119790	115235	1.04
Rugosidad	236605	adimensional	-2.22E-16	0.54	0.01	220555	16050	13.74
Cuena visual	241001	positivo o negativo	0	1		139616	101385	1.38
Dificultad de vías	881	adimensional	0.003	12.70	6.35	711	170	4.18

Fuente. Elaboración propia.

4.1.2. Discusi n de los resultados

4.1.2.1. Calidad de la validez interna

a. Información topográfica ALOS - PALSAR:

La información topográfica utilizada fue un modelo digital de terreno (MDT) ALOS - PALSAR cuyas características est n en el acápite 2.3.4.4. (Información MDT - R ster) siendo lo resaltable el hecho de su resolución espacial de 12.5 m. Si bien se puede generar mapas a escala de 1 / 25,000 (Proyecto de adaptación al impacto del retroceso acelerado de glaciares de los andes tropicales - PRAA PERÚ, 2011) siendo la misma escala utilizada en este trabajo de investigación, sin embargo, de acuerdo con Zhang & Montgomery (1994) y Kienzle (2004) y citados por Correa Muñoz (2012), se ha encontrado que una resolución horizontal de 5 a 10 m y una vertical menor a 0.5 m es la óptima para describir la forma de la superficie local (siendo el área de la cuenca de la quebrada el Pedregal de 10.24 km²). Si tomamos el valor 10 m mencionado por Zhang & Montgomery como referencia, se tiene que la distancia de interpolación para la presente investigación se ajusta a este valor (ya que tiene el mismo valor de 10 m).

b. Utilización de la interpolación bic blica:

En el Anexo IV se puede obtener los resultados de la comprobación de los resultados de la interpolación bic blica comparados con los resultados de la interpolación 'topo to raster' del programa ArcGis de la empresa ESRI .

El investigador, y de acuerdo a los resultados del anexo IV cree que la interpolación bic blica es correcta para las zonas del fondo de quebrada y el lecho del río ya que se asemejan con lo mostrado en la interpolación 'topo to raster' del programa ArcGis de la empresa ESRI .

4.1.2.2. Calidad de la validez externa:

Atendiendo lo mencionado en el punto anterior, este trabajo de investigaci3n se puede aplicar en otras 3reas teniendo en cuenta factores como el 3rea de trabajo para la elecci3n de un modelo digital de terreno cuya resoluci3n espacial sea la adecuada (ni tan espaciosa para que no sea representativa y ni tan detallada para que no se sobrecargue de informaci3n). Ejemplos de utilizaci3n se tiene el trabajo de Correa Mu0oz (2012) donde utiliza modelos digitales de elevaci3n (MDE o MDT) para la caracterizaci3n de las formas del terreno en zonas de monta0a en el departamento del Cauca (Colombia) y en donde utiliza MDE 3 del SRTM de 91 m, SRTM de 31 m y ASTER de 31 m y utilizando curvas de nivel a escalas de 1:25000 y 1:10000 y desde el an3lisis del terreno obtuvo caracter3sticas de la topograf3a como la pendiente, aspecto (orientaci3n), curvatura, entre otras.

4.1.2.3. Comparaci3n con otras fuentes

Se utilizaron dos tesis que sirvieron como antecedentes de esta investigaci3n m3s la informaci3n del Proyecto Instituto Nacional de Defensa Civil - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (INDECI - PNUD, 2005):

a) Castro Arag3n & Carrasco Villota (2011): la investigaci3n de ambos autores y la presente investigaci3n tienen la semejanza de ser propuestas usando modelos matem3ticos: mientras que la de Castro Arag3n et al es para la gesti3n ambiental en la zona noroccidental del rio Cali con un 3rea de 12352 has (123.52 km²) la presente es para una zonificaci3n ambiental territorial para un 3rea de 10.24 km²; pero la investigaci3n de ambos autores no indica la procedencia de la topograf3a que utilizo requerida para el modelamiento hidrol3gico. Ambos autores utiliza los modelos matem3ticos hidrol3gicos EPA SWMM 5.0 y el HECRAS v3.1.3.

b) Correa Mu0oz (2012): como se explico en el punto anterior, Correa Mu0oz utiliza modelos digitales de elevaci3n como el SRTM de 91 m, STRM de 31 m y ASTER de 31 m para un 3rea de 19957.32 km², mientras que en la

presente investigación se utilizó el modelo ALOS-PALSAR para un área de 10.24 km² y en ambas investigaciones se utilizaron algoritmos para obtener la pendiente, orientación (o aspecto en el caso de Correa Muñoz) y la curvatura para la caracterización de la topografía. Los resultados de la investigación de Correa Muñoz se detallan en las conclusiones que el modelo SRTM con separación aproximada de 31 m es la que mejor potencial en la delimitación de formas de terreno desde el punto de vista morfométrico.

c) Proyecto Instituto Nacional de Defensa Civil - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (INDECI - PNUD, 2005): en su estudio 'Mapa de peligros y plan de usos del suelo y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Chosica', lámina 'Mapa de peligros', a una escala calculada de 1 / 21930, se tiene la siguiente comparación (ver Mapa 4):

¿ En la cuenca baja Se observa que existe cierta correlación en dos flujos de la margen izquierda (los dos m²s al sur). La zona 1 propuesta para esta investigación calza con la zona de peligro muy alto de INDECI, dicha área proviene del área del huayco del 1987 (O'Connor, 1988). La zona de peligro alto y peligro medio del INDECI en la margen izquierda está sobre la zona 2 de esta investigación de tesis, mientras que las dos zonas mencionadas del INDECI cubren la mitad del ancho de la zona 2 de esta investigación en el margen izquierdo.

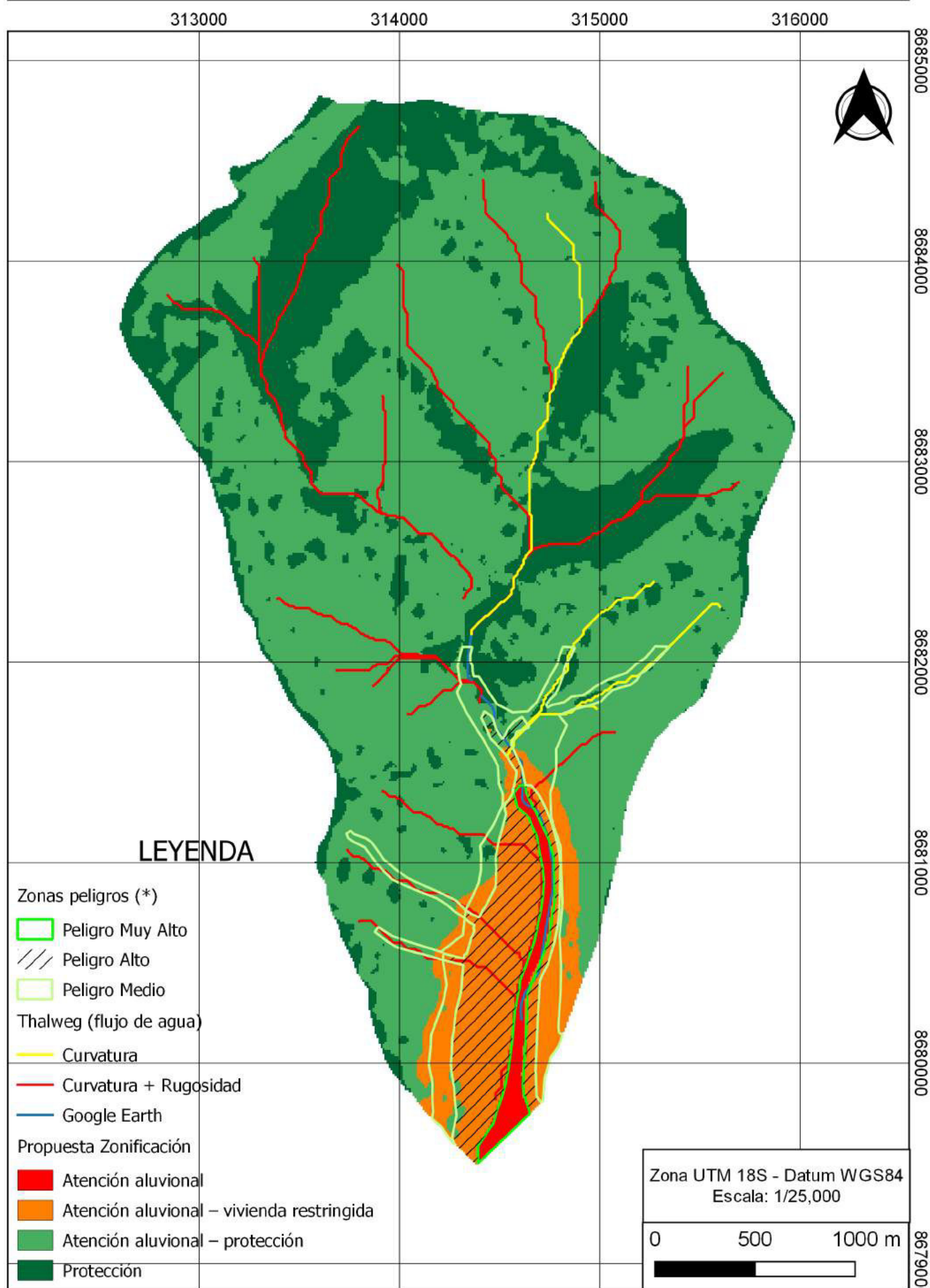
¿ En la cuenca media en la margen izquierda se observa cierta correlación en dos flujos y en la mitad de la cuenca media hay una correlación de un flujo.

¿ El estudio no comprende la cuenca alta de la quebrada el Pedregal.

La lámina 'Mapa de peligros' fue confeccionado de mapas temáticos de peligros que corresponden a aspectos geológicos, hidrológicos y geotécnicos.

MAPA 4:

COMPARACION PROPUESTA ZONIFICACION TESIS CON ZONIFICACIÓN INDECI - PNUD



(*) Fuente. INDECI – PNUD (2005), "Mapa de peligros y plan de usos del suelo y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Chosica", lamina "Mapa de peligros"

Como conclusi3n de la contrastaci3n de los resultados, el investigador cree que son validos si se trabaja a nivel preliminar o propuesta pudiendo mejorar los resultados (siendo m3s representativos) si se mejora la resoluci3n de la topograf3a.

4.2. Pruebas de hip3tesis

4.2.1. Primera hip3tesis especifica

Para la hip3tesis `La interpolaci3n bic3blica remuestrea adecuadamente la altitud topogr3fica de una cuenca _ queda contrastada de manera que, si se asume que la interpolaci3n Topo to Raster _ utilizado por el programa ArcGis de la compa23a ESRI ÷ y de acuerdo con el mismo menciona que es hidrol3gicamente correcto, entonces y atendiendo con los resultados del Anexo IV, luego, la primera hip3tesis especifica queda rechazada y se acepta la hip3tesis alterna que afirmar3a que `La interpolaci3n bic3blica no remuestrea adecuadamente la altitud topogr3fica de una cuenca _.

4.2.2. Segunda hip3tesis especifica

La hip3tesis `Los modelos matem3ticos describen adecuadamente las caracter3sticas topogr3ficas de una cuenca _ queda demostrada de forma afirmativa por los antecedentes presentes en este trabajo de investigaci3n, art3culos cient3ficos y programas utilizados en los sistemas de informaci3n geogr3fica que utilizan modelos matem3ticos para sus an3lisis. Obviamente que depende de la informaci3n topogr3fica tal como se describe en el ac3pite de la Discusi3n de los resultados.

4.2.3. Hip3tesis General

La hip3tesis `Los modelos matem3ticos determinan una zonificaci3n ambiental territorial en la cuenca de la quebrada el Pedregal, Lurigancho - Chosica, Lima _ queda contrastada de forma negativa por lo mencionado de las dos hip3tesis especificas: desde la primera hip3tesis especifica que niega

la primera hipótesis específica que 'La interpolación bicúbica remuestrea adecuadamente la altitud topográfica de una cuenca' y la segunda hipótesis específica que afirma que 'Los modelos matemáticos describen adecuadamente las características topográficas de una cuenca'.

La negación de la hipótesis general es sujeta a lo atendido que la interpolación 'topo to raster' es la adecuada hidrológicamente para el remuestreo de puntos (proveniente de la primera hipótesis específica).

4.3. Presentación de resultados

4.3.1. Altitud, Pendiente, Orientación, Curvatura y Rugosidad

El Mapa 5 (Altitud) se observa un rango de elevación que va desde los 898 hasta los 2347 metros sobre el elipsoide WGS 84. Las viviendas están asentadas entre los 898 hasta por debajo de los 1200 y se está ampliando la zona de viviendas hasta por debajo de los 1300 metros sobre el elipsoide WGS 84. Las zonas de cultivo están hasta los 1300 metros sobre el elipsoide WGS 84. La zona con huancoi se encuentra desde los 1300 aproximadamente hasta los 2347 metros sobre el elipsoide WGS 84.

El Mapa 6 (Pendiente) se observa que las viviendas están asentadas en su mayoría en pendientes hasta los 16° que de acuerdo al Cuadro 2 corresponde a pendientes moderadas, deslizamientos ocasionales, peligro de erosión severo. En el trabajo de campo se observó que la expansión urbana se da ahora en las zonas anexas de la zona de viviendas y que corresponden a pendientes de hasta 35° (pendiente fuerte).

El Mapa 7 se observa la Orientación donde en la cuenca baja predomina las direcciones Este y SurEste en la margen derecha y la dirección Oeste en la margen izquierda colindantes y direccionadas al área de viviendas.

En el Mapa 8 se tiene a la Curvatura, y se observa que el área de las viviendas está ubicada en una curvatura mayormente cóncava, además que

la divisoria de aguas de la cuenca esta predominada por curvaturas positivas o convexas. En términos de superficie la curvatura cóncava está presente con un área de 5.19 km² mientras que la curvatura convexa en un área de 5.05 km² donde se puede determinar una distribución equitativa entre dichas curvaturas.

En el Mapa 9 se tiene a la Rugosidad que para la cuenca tiene un rango desde 0 hasta 0.10975 (para este mapa se decidió hacer rangos de 0 - 0.005, 0.005 - 0.01, 0.01 - 0.015 y 0.015 - 0.2 para agrupar los valores más altos en un solo bloque y evitar rangos innecesarios). Si se toma como valor guía a 0.01 y seleccionar los valores por debajo de este (rugosidad menor) se tiene que cubre un área de 9.67 km² de la cuenca, y los valores más altos (rugosidad mayor) solo está presente en un 0.57 km².

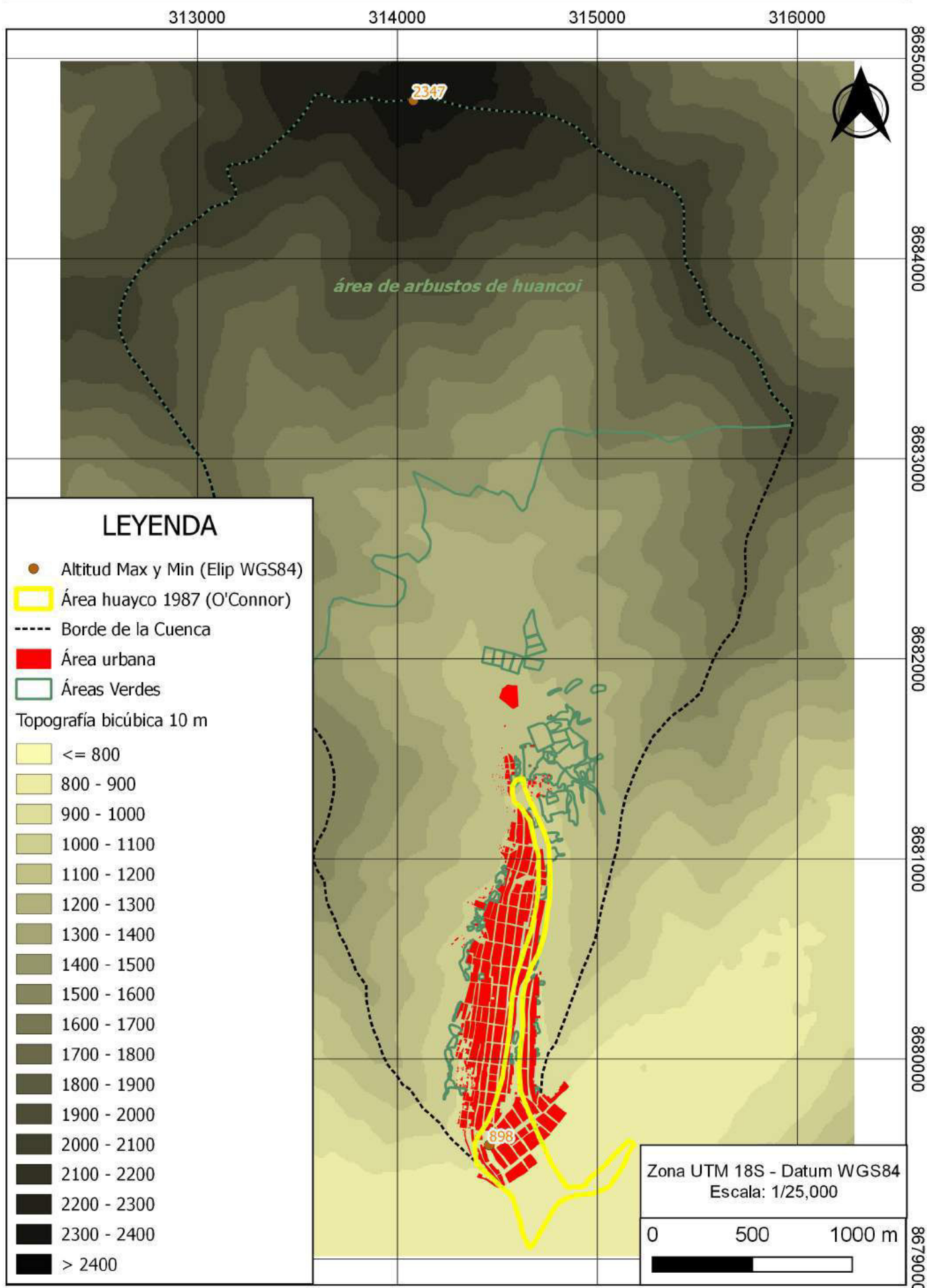
Luego, aplicando lo dicho en el Anexo III, apéndice O (Algoritmo para el análisis de criterios y/o parámetros para la zonificación) se puede afirmar que:

¿ De acuerdo a la intersección del área del huayco de 1987 (O'Connor, 1988) con la grilla de la altitud, se determina que este huayco alcanza una altitud máxima de 1118.15 y la intersección del área de las viviendas con la grilla de la altitud y se determina que las viviendas están por debajo de 1260.05 metros sobre el elipsoide WGS84.

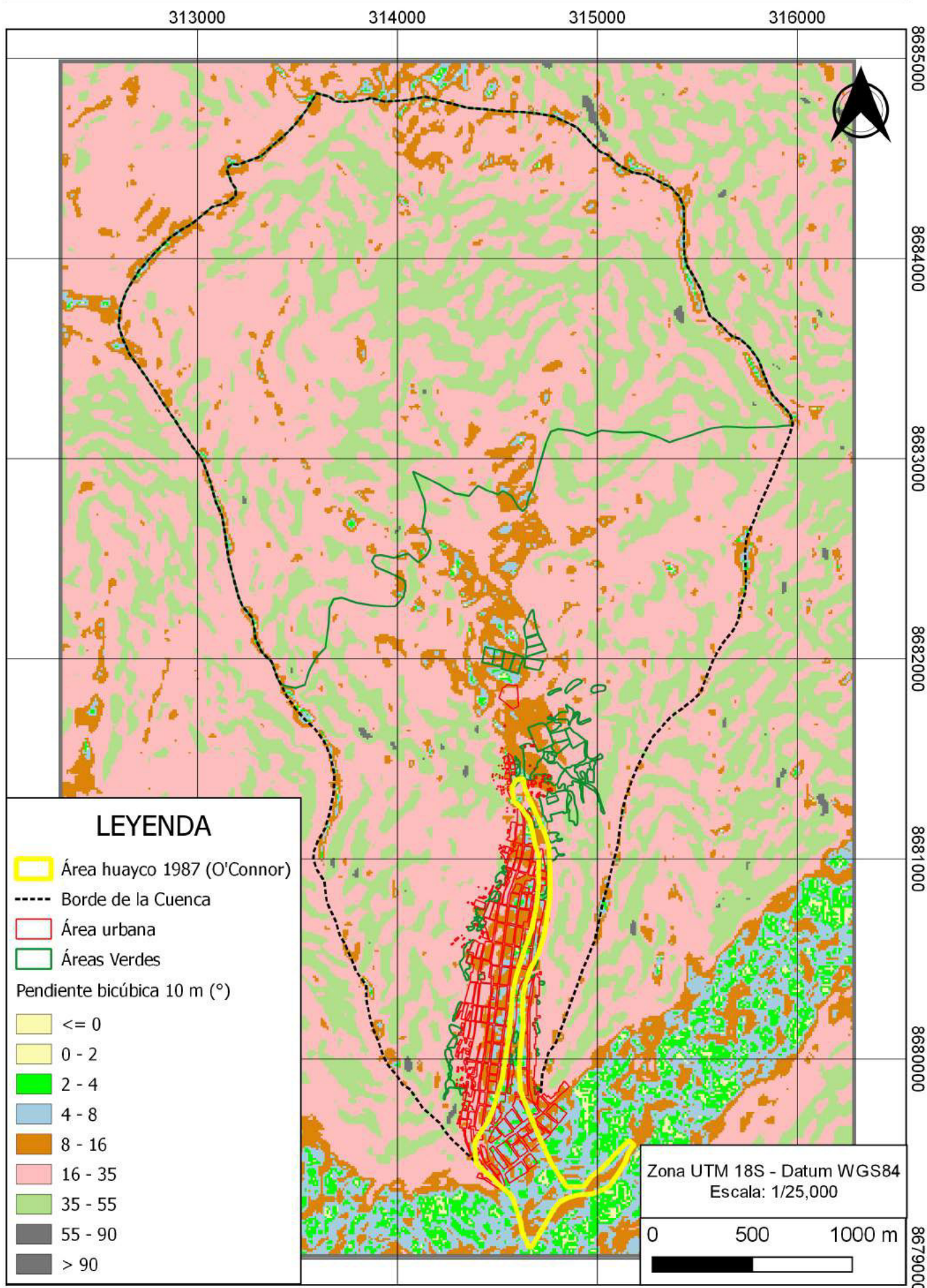
¿ De acuerdo a la intersección del área del huayco de 1987 (O'Connor, 1988) con la grilla de la pendiente, se determina que este huayco alcanza una pendiente máxima de 40.559° y la intersección del área de las viviendas con la grilla de la pendiente determinándose que las viviendas están por debajo de los 47.4021°.

¿ De acuerdo a la información de la grilla de rugosidad, se encuentra mayormente los valores menores a 0.01 cubriendo un área de 9.67 km² y los valores mayores de 0.01 un área de 0.57 km² evidenciando una actividad de flujo por considerar.

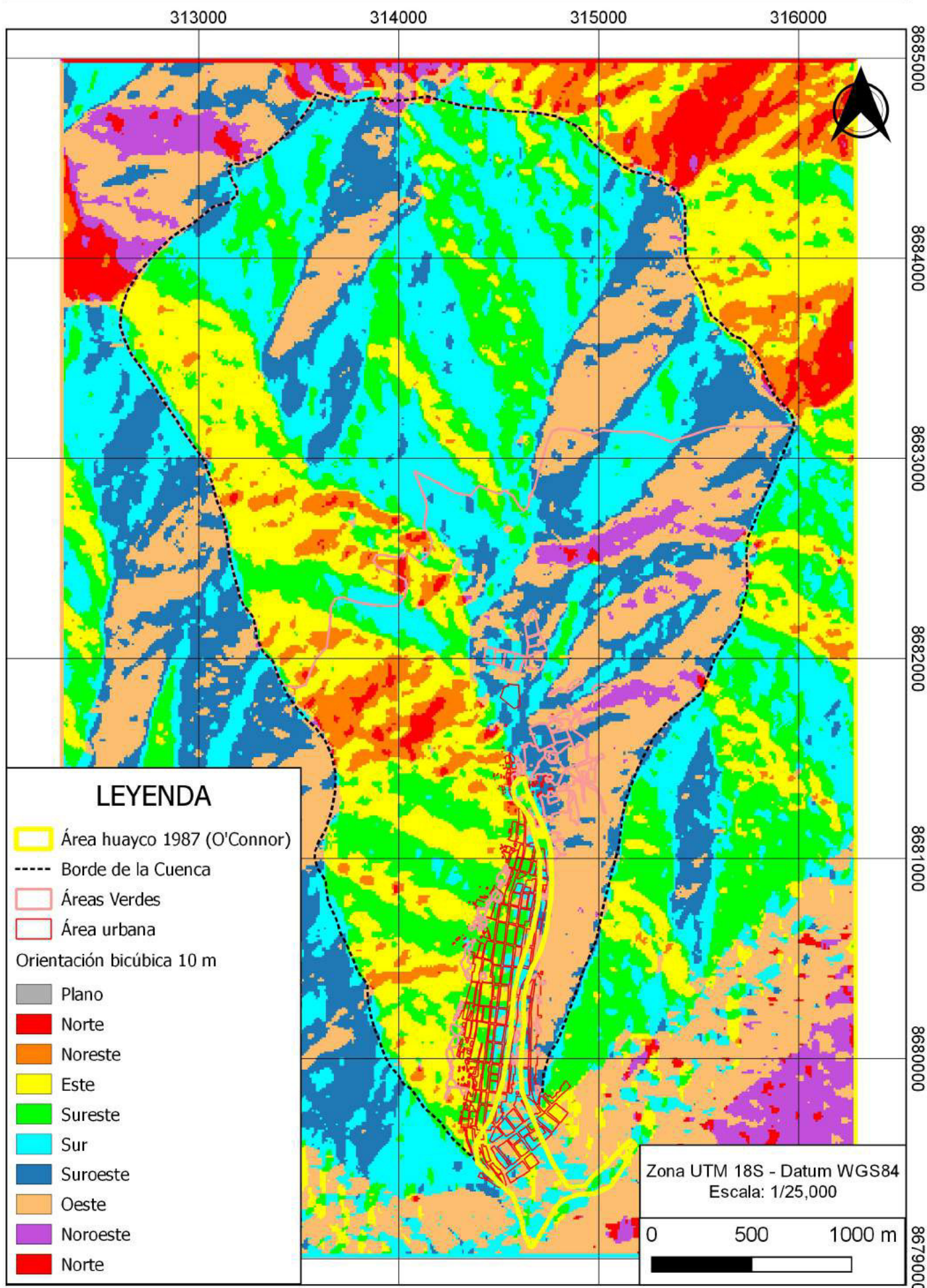
MAPA 5: TOPOGRAFÍA BICÚBICA PEDREGAL (10 m)



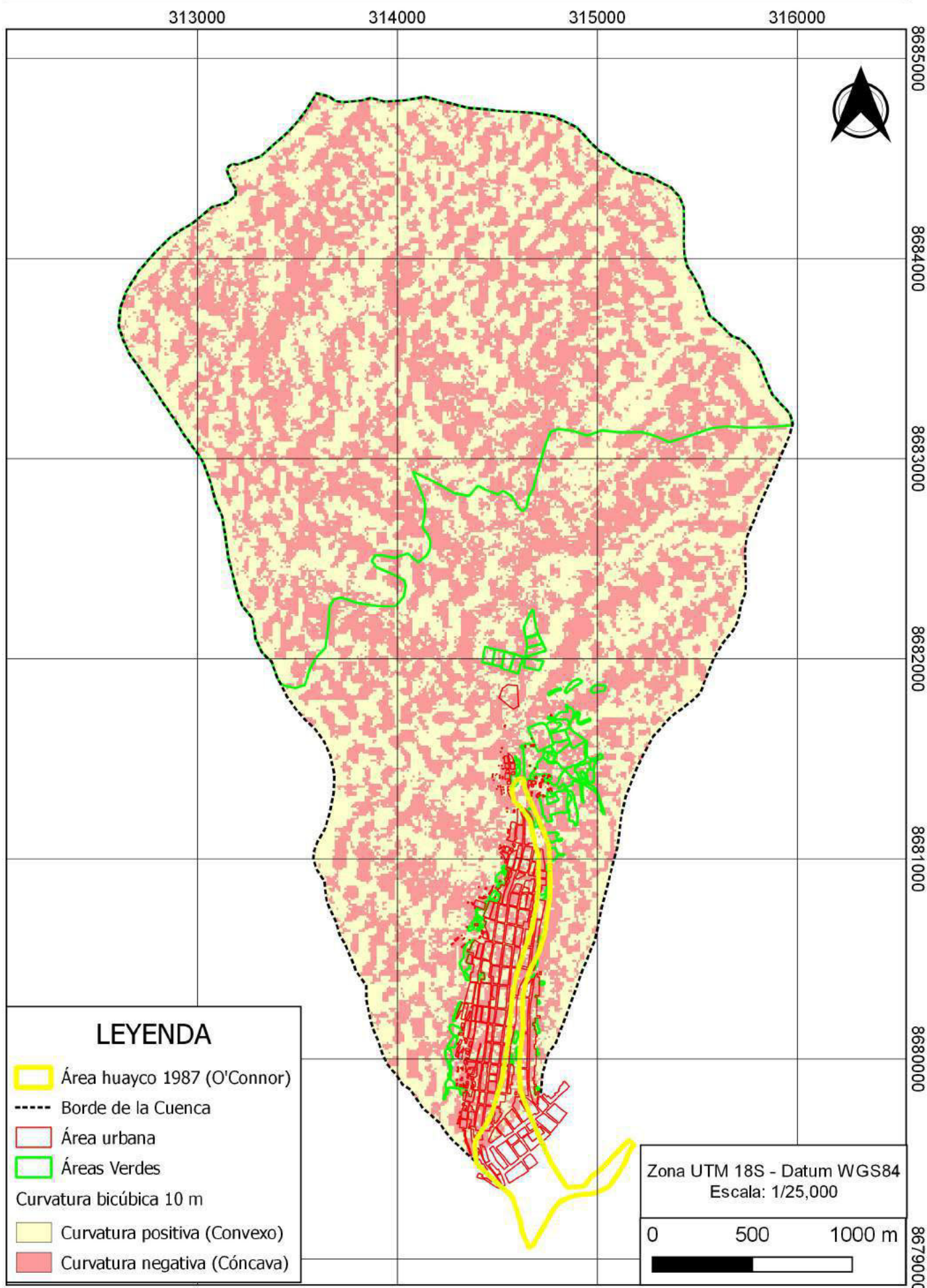
MAPA 6: PENDIENTE BICÚBICA PEDREGAL (10 m)



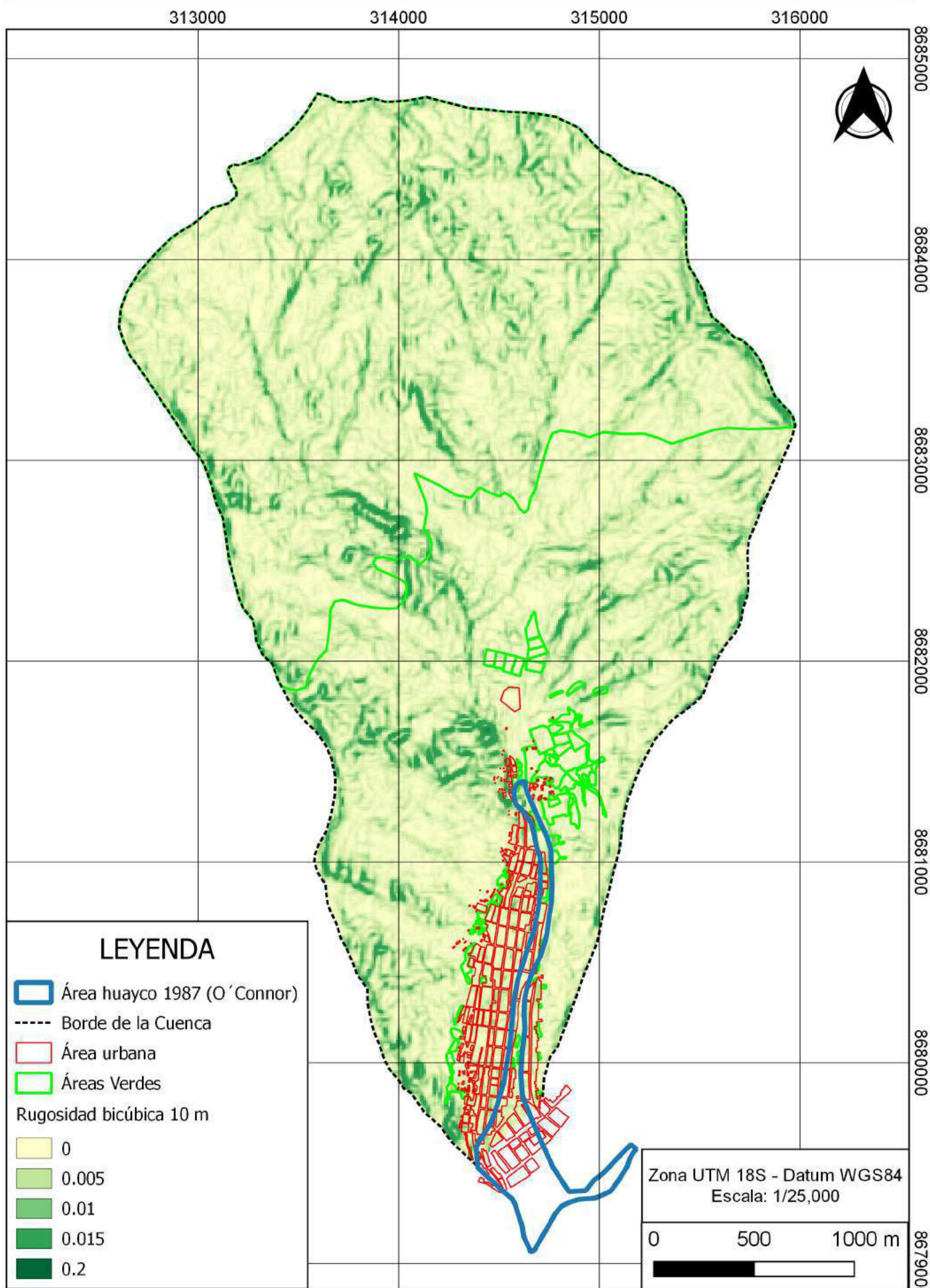
MAPA 7: ORIENTACIÓN BICÚBICA PEDREGAL (10 m)



MAPA 8: CURVATURA BICÚBICA PEDREGAL (10 m)



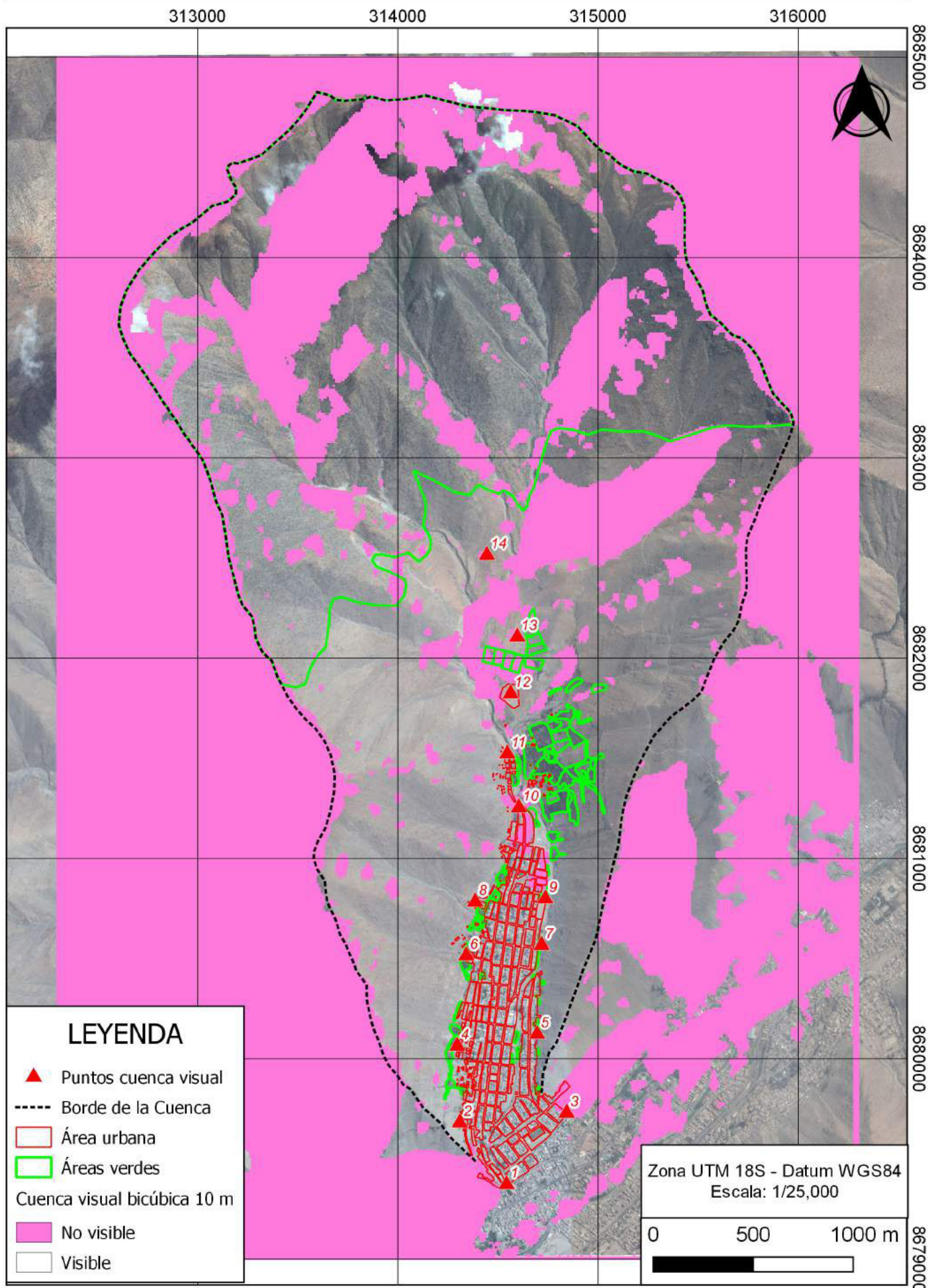
MAPA 9: RUGOSIDAD BICÚBICA PEDREGAL (10 m)



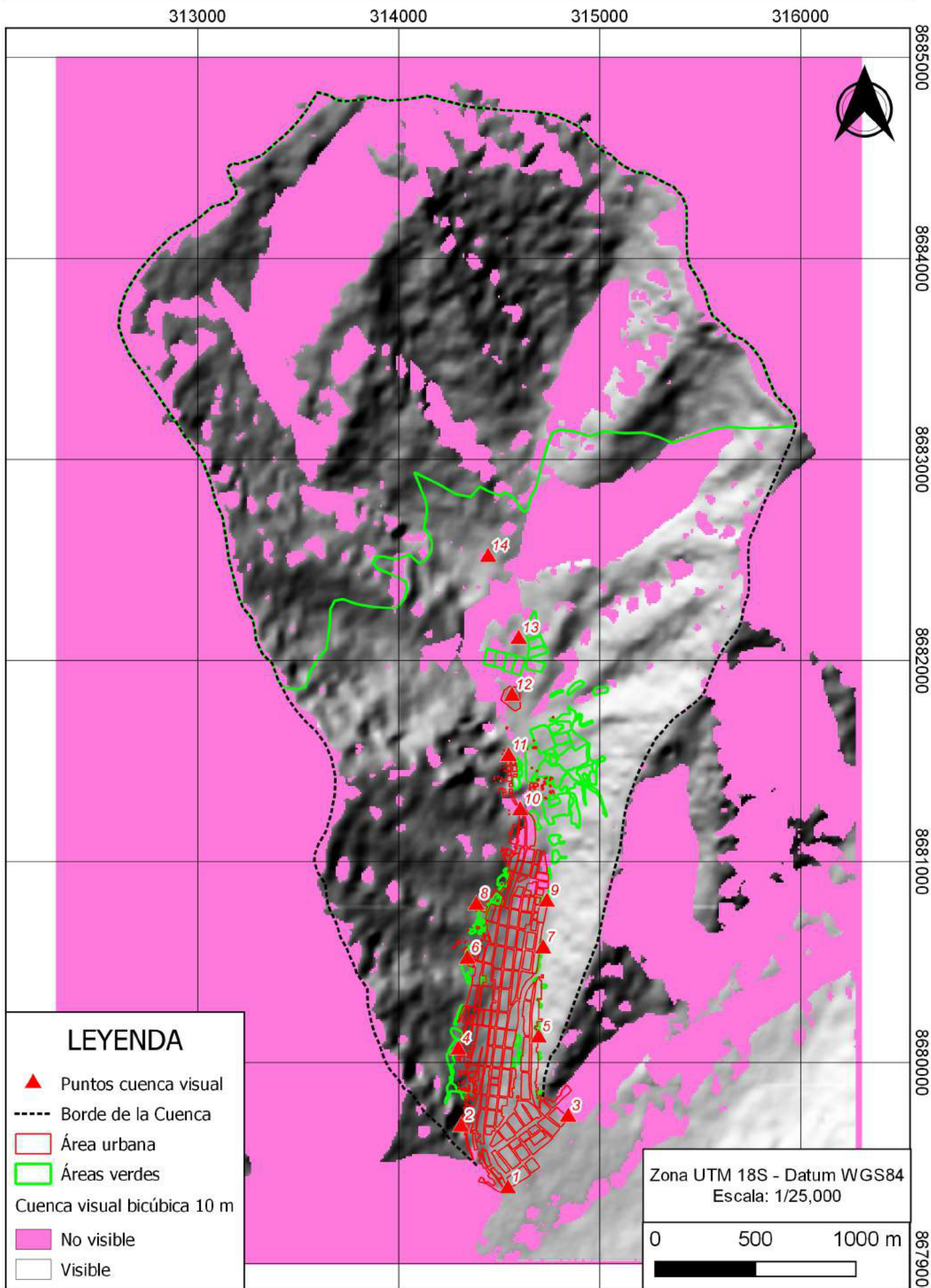
4.3.2. Cuenca visual

El Mapa 10 presenta la cuenca visual sobre el Google Earth, el Mapa 11 explica sobre los puntos ciegos cercanos a los puntos de visualización, por las pequeñas protuberancias en la superficie que se notan en la sombra del hillshade y en el Mapa 12 se ve que la orientación justifica algunas apariciones de los puntos ciegos ya que los cambios de la orientación de la superficie determina si una parte de la misma es visible o no.

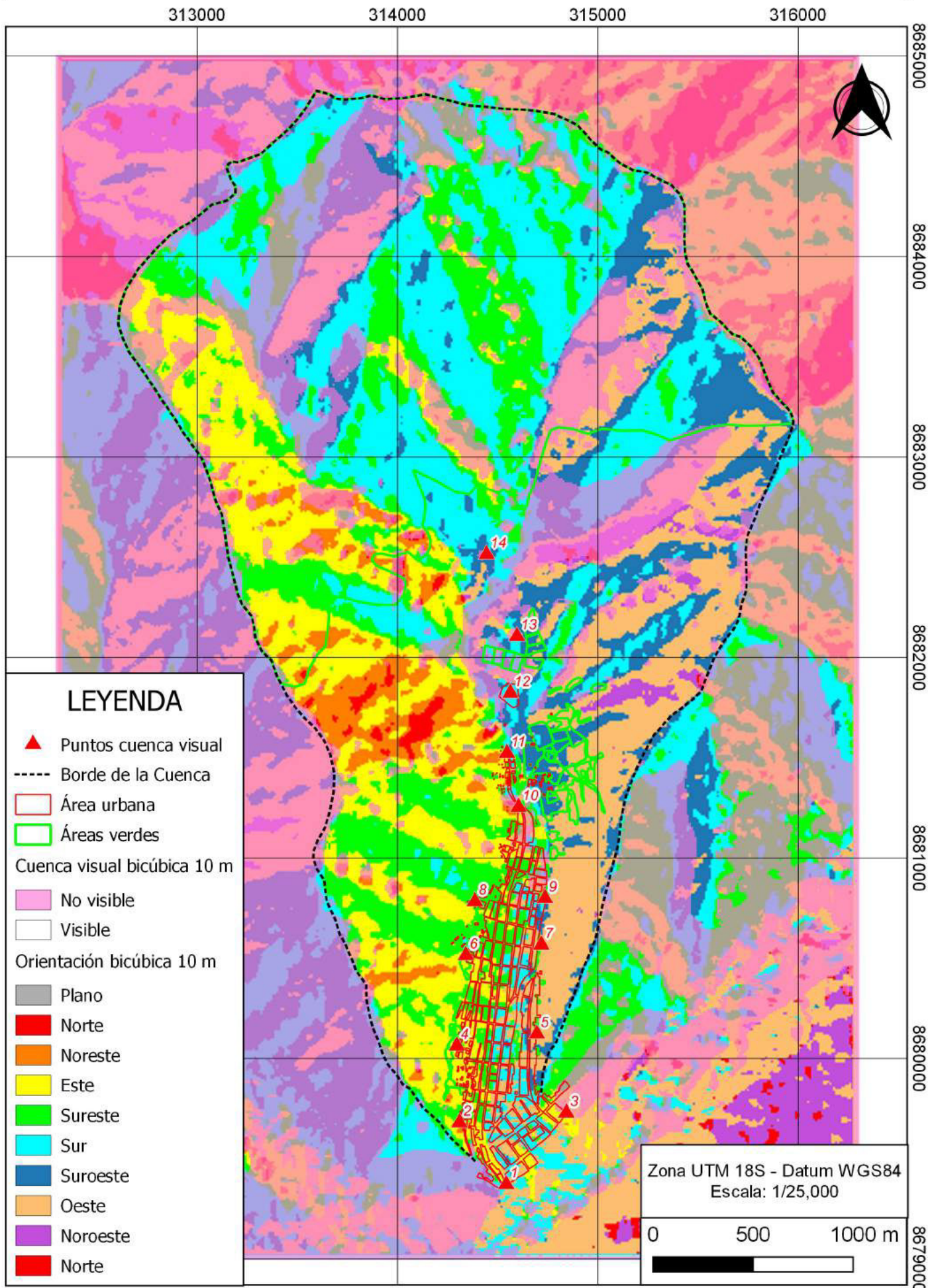
MAPA 10: CUENCA VISUAL BICUBICA PEDREGAL (10 m) **- GOOGLE EARTH**



**MAPA 11: CUENCA VISUAL BICUBICA PEDREGAL (10 m)
- HILLSHADE**



MAPA 12: CUENCA VISUAL BICUBICA PEDREGAL (10 m) **- ORIENTACIÓN**



4.3.3. Estimación del thalweg de un flujo de agua o aluvional sobre el relieve

En primer lugar, se tomara en cuenta dos factores principalmente que determinen la elección de los puntos de inicio para un flujo de agua o aluvional:

¿ La curvatura cóncava (con valores negativos) que indican el lecho de la quebrada, y

¿ La rugosidad que da el indicio, que, a un valor menor indica una mayor incidencia al paso de un flujo aluvional, que para este caso se ha tomado los valores menores a 0.01.

¿ También se utilizo las imágenes del Google Earth (2014) para la comparación del análisis.

Luego del análisis de estos dos factores se tiene como resultado 21 flujos de agua o aluvionales, divididos en dos categorías:

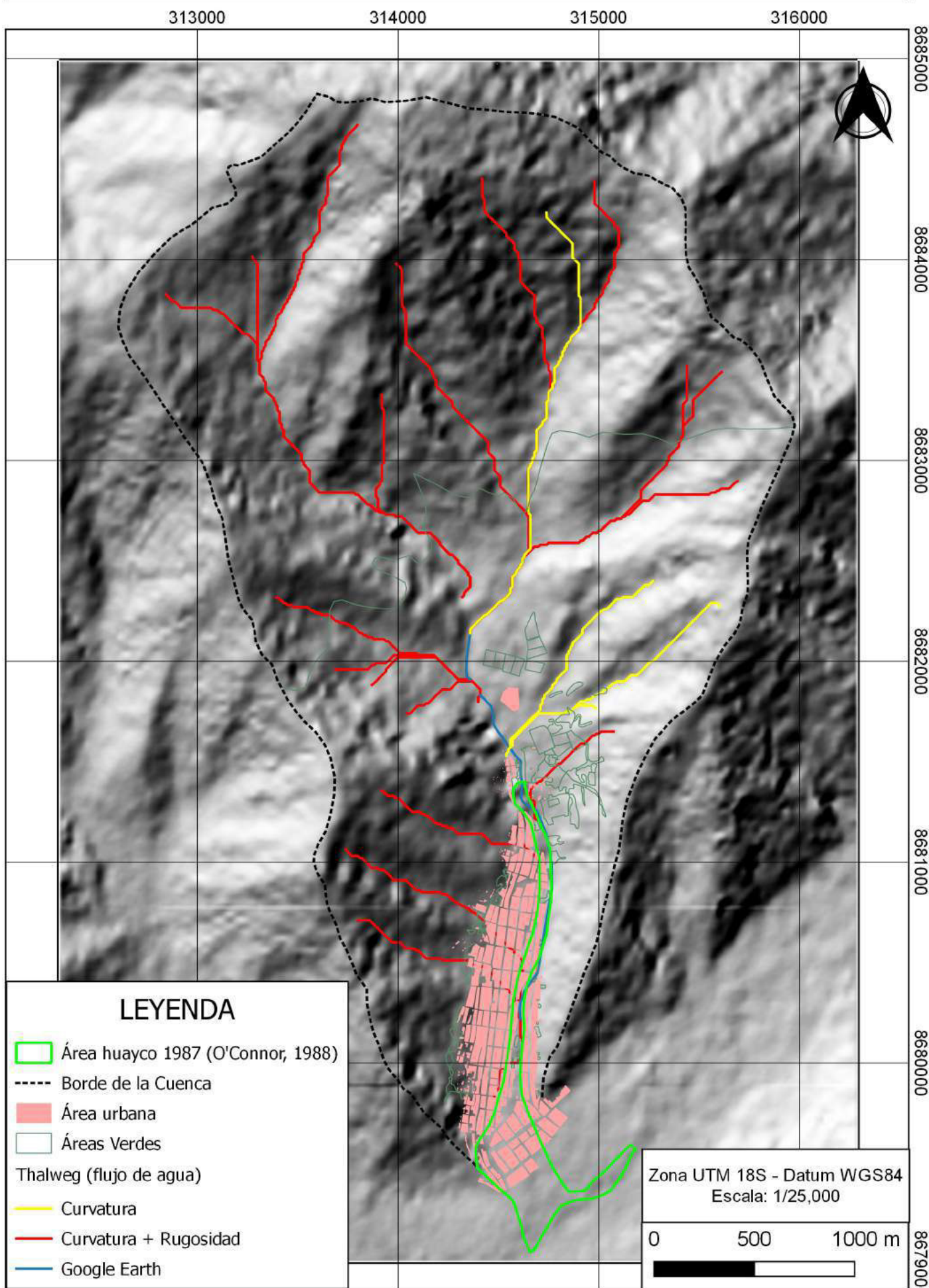
¿ Se detectaron 18 flujos que corresponden a una curvatura cóncava y una rugosidad inferior al promedio, esto quiere decir que la corriente de agua que pase por ahí no tendrá tanto esfuerzo en el pase por dichos flujos.

¿ Se detectaron 3 flujos que corresponden a una curvatura cóncava y una rugosidad muy cercana al promedio, esto quiere decir que la captación de agua no será tan común como para que una corriente de agua o flujo aluvional pase por ahí.

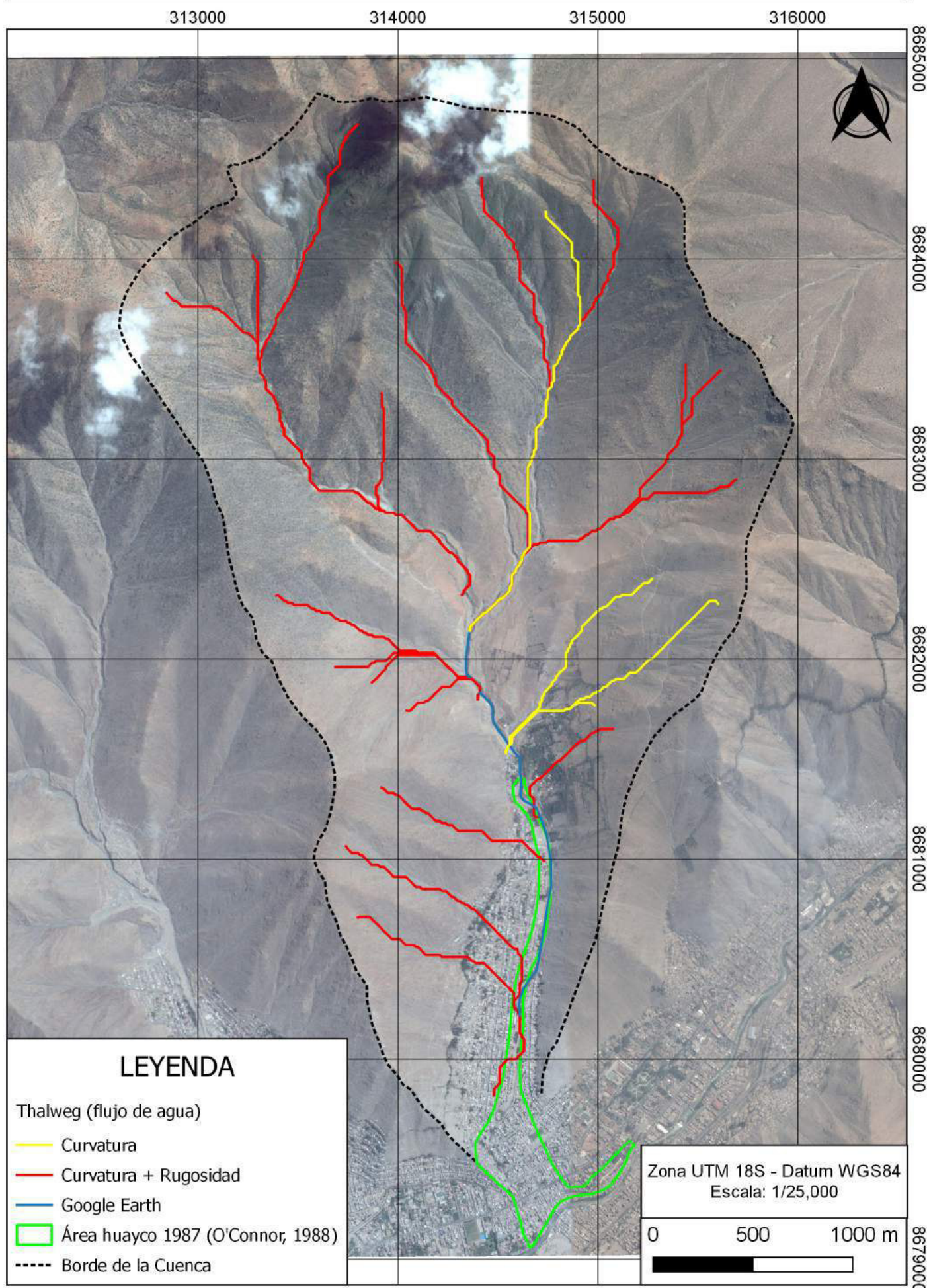
Los 21 flujos de agua o aluvionales en mención desembocan en el cauce principal de la quebrada el Pedregal que fue digitalizada usando las imágenes del Google Earth (2014).

Con respecto al área del huayco del 1987 (O'Connor, 1988) solo cuatro de los 21 flujos de agua o aluvionales desembocan en dicha área, siendo del tipo de curvatura cóncava y rugosidad inferior al promedio.

MAPA 13: FLUJO DE AGUA BICUBICA PEDREGAL (10 m) - HILLSHADE



MAPA 14: FLUJO DE AGUA BICUBICA PEDREGAL (10 m) - GOOGLE EARTH



Fuente imagen: Google Earth (2014) y descargado usando SASplanet

4.3.4. Vías

De acuerdo al acápite 2.3.4.15 se realizó la caracterización de la dificultad de las vías, y se obtuvo índices que van entre los 0.0 (dificultad baja) hasta los 12.7 (dificultad alta). De acuerdo al Mapa 15 y al Mapa 16 se observa que las vías en la zona de viviendas tienen una dificultad baja (0.0 - 6.0) debido a que las mismas están pavimentadas en su mayoría con un ancho de vía en promedio de 5 m y pendientes de hasta 16° y están presentes en la cuenca baja y media donde en el trabajo de campo se observó que hay trabajos de remoción de tierras para fines de habilitación urbana. En la cuenca media se tiene vías de dificultad media (6.0 - 9.0) y son zonas donde la pendiente supera los 19° y son senderos. En la cuenca alta se tiene vías con dificultad alta (mayor a 9.0) donde las pendientes son mayores de 16° y netamente son senderos con un ancho menor de 3 m o menor y cruzan el área de huancoi.

A continuación se presentan seis puntos más de los cuatro mostrados en el acápite 2.3.4.15. (Caracterización de la dificultad de vías de acuerdo a la topografía: Puntos 6, 8 y 10) y en el acápite 2.3.5.5. (Descripción de la cuenca de la quebrada el Pedregal: Punto 1).



Figura 49. Punto 2.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 50. Punto 3.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 51. Punto 5.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 52. Punto 7.

Fuente. Elaboración propia.

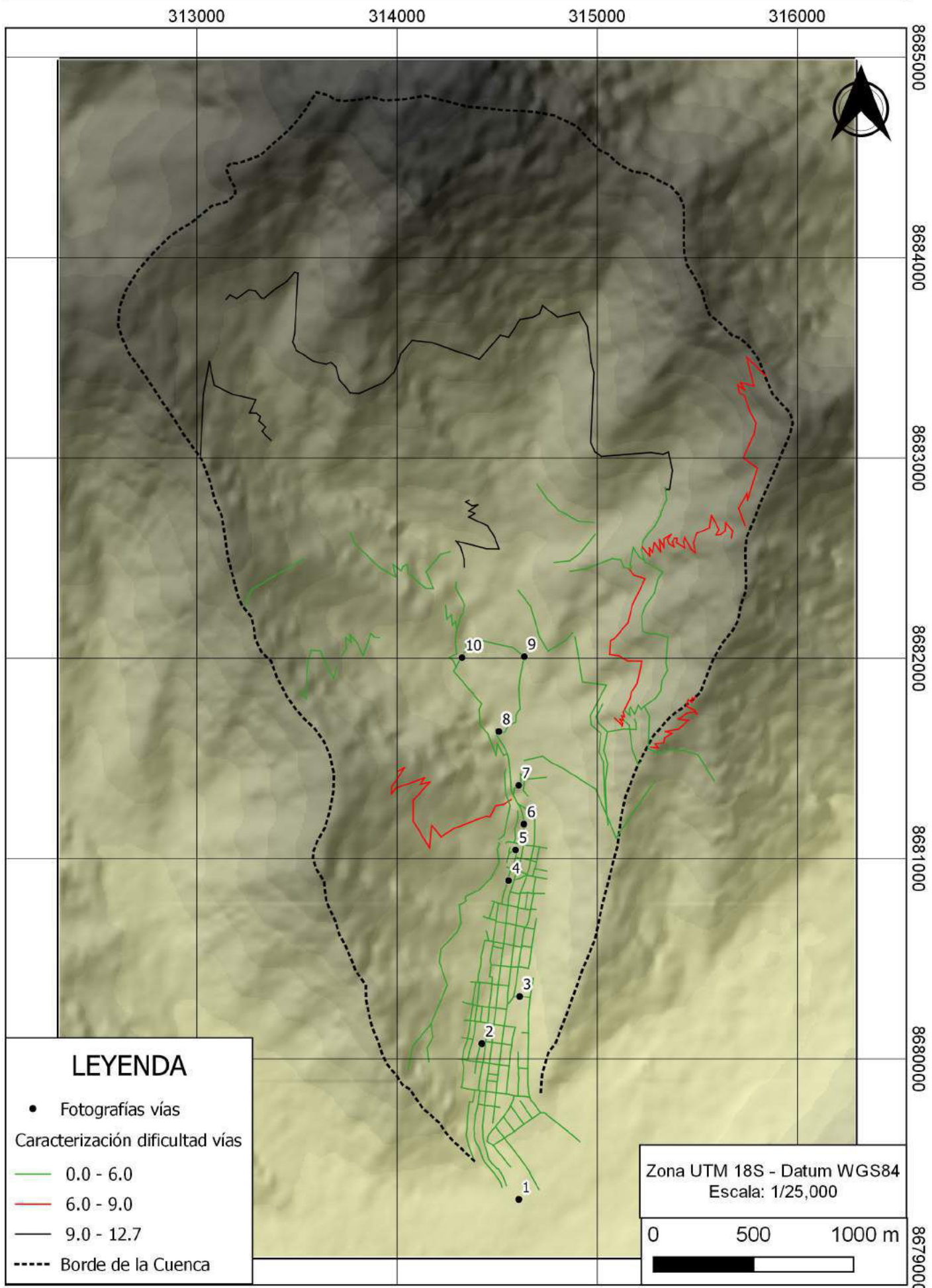


Figura 54. Punto 9.
Fuente. Elaboración propia.

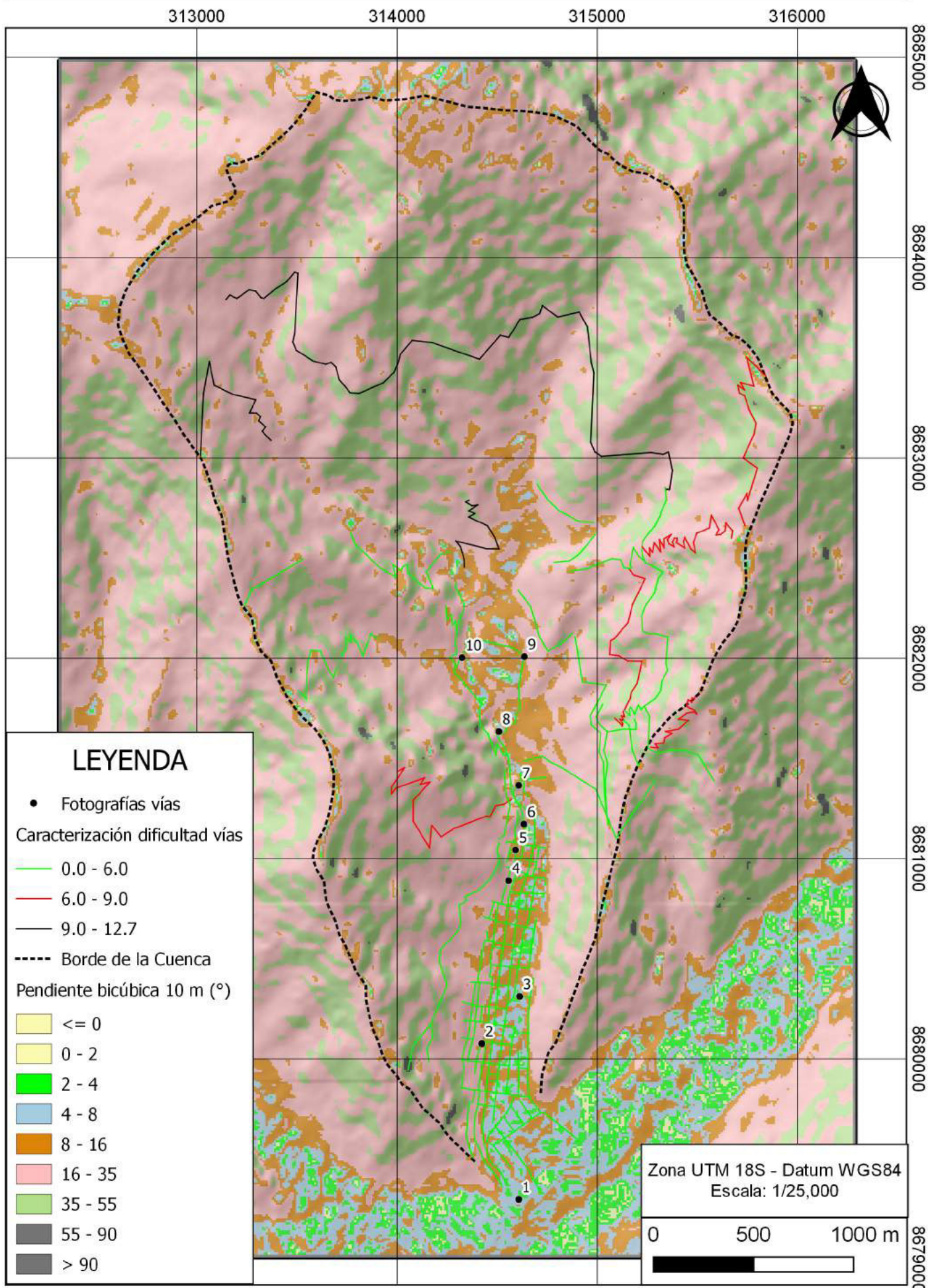


Figura 53. Punto 4.
Fuente. Elaboración propia.

MAPA 15: CARACTERIZACION DE LA DIFICULTAD DE VIAS BICÚBICA PEDREGAL (10 m)



MAPA 16: CARACTERIZACION DE LA DIFICULTAD DE VIAS BICÚBICA PEDREGAL - PENDIENTE (10 m)



4.3.5. Propuesta de zonificación

A manera de preámbulo, se expone algunos datos de la cuenca del Pedregal, de acuerdo a los mapas a la escala al 175,000 de la `Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rómulo. Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rómulo_ publicado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2010):

- ¿ La clasificación del uso mayor del suelo de la cuenca de la quebrada el Pedregal es el de Protección en laderas de montaña con afloramientos líticos;
- ¿ Precipitación total anual entre los 20 y 40 mm;
- ¿ Temperatura media anual entre los 19 y 21 C°;
- ¿ Temperatura máxima media anual entre los 24 y 26 C°;
- ¿ Temperatura mínima media anual entre los 14 y 16 C° y
- ¿ Humedad relativa media anual entre los 80 y 82 %.

Para la zonificación de la cuenca de la quebrada el Pedregal se tomaron las siguientes consideraciones:

- ¿ Lo propuesto en el Anexo III adjunte O (Algoritmo para el análisis de criterios y/o parámetros para la zonificación).
- ¿ Evidencias de trabajos de remoción de suelo;
- ¿ Zonas agrícolas y de cultivo;
- ¿ Los accesos que se encontraron en el trabajo de campo y en las imágenes del Google Earth;
- ¿ El criterio del investigador que por el trabajo de campo y el análisis personal modifica los resultados de los modelos matemáticos.

Como resultado, se tiene el Mapa 13 donde se muestra la propuesta de Zonificación Ambiental Territorial para la cuenca de la quebrada el Pedregal. En el Cuadro 8 se tiene un resumen de las 4 zonas propuestas y en el Mapa 13 las 4 zonas en la cuenca de la quebrada el Pedregal.

Cuadro 8. Propuesta de zonificación Pedregal.

Zona	Área (km ²)	Área (%)
Zona de atención aluvional (huayco 1987)	0.14	1.37
Zona de atención aluvional - vivienda restringido	0.85	8.30
Zona de atención aluvional - protección	6.65	64.94
Zona de protección	2.60	25.39
TOTAL CUENCA	10.24	100.00

Fuente. Elaboración propia.

Cabe señalar que las viviendas se encuentran ubicadas en la Zona de atención aluvional (huayco 1987) y en la Zona de atención aluvional - vivienda restringido.

A su vez, como un resultado adicional se presenta un mapa geomorfológico (ver Mapa 14) de la cuenca de la quebrada el Pedregal que se obtiene del uso de la grilla de la Pendiente y la representación del thalweg para la ubicación de las quebradas y cárcavas. Se tiene tres unidades geomorfológicas según lo propuesto por el Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2012) que utiliza rangos de pendiente para la generación de las tres mencionadas zonas (Cuadro 9):

Cuadro 9. Unidades geomorfológicas en la quebrada el Pedregal por la pendiente.

Unidad geomorfológica	Pendiente
Terrazas (Te)	0° - 15°
Ladera de pendiente media (Lpm)	15° - 35°
Ladera empinada (Le)	mayor a 35°

Fuente. Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2012) y modificado por Espinoza Pereyra.

La descripción de las unidades geomorfológicas es la siguiente (IGP, 2012):

¿ Quebradas y cárcavas: las cuales permanecen secas la mayor parte del año (entre mayo a diciembre) y solo se transcorre agua en épocas de fuertes precipitaciones asociadas mayormente por el fenómeno de El Niño. Por el clima seco de la zona y las depresiones existentes favorecen la acumulación de detritos formando depósitos coluviales.

¿ Terrazas: proviene del Holoceno al Pleistoceno y se han formado por acumulaciones de depósitos aluviales de corrientes relativamente antiguas. La topografía de estas terrazas se caracterizan por presentar ondulaciones y disecciones que afectan la superficie con pendientes máximas de 15° como rango dominante. Es en esta zona donde existen viviendas y actividades socioeconómicas.

¿ Laderas de pendiente media y empinada: estas unidades demarcan a las laderas de las cadenas pre-montañas de la Cordillera Occidental y se encuentra constituido por rocas intrusivas del Batolito de la Costa. Presentan una topografía abrupta y disectadas por quebradas (y cárcavas).

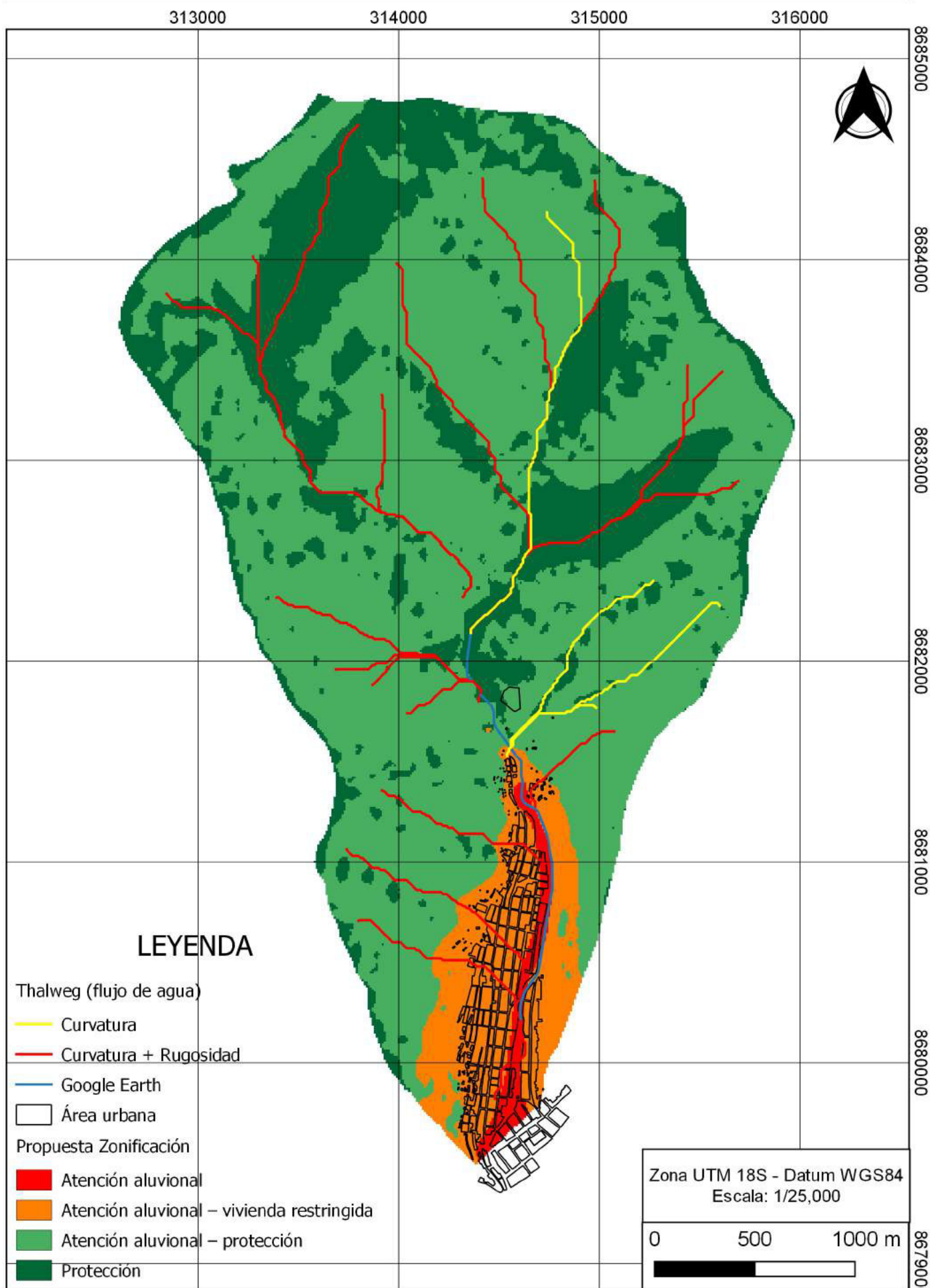
Realizando una relación con las cuatro zonas y las geoformas del terreno y los procesos dinámicos en la cuenca del Pedregal se tiene (Cuadro 10).

Cuadro 10. Geoformas y procesos en la quebrada el Pedregal.

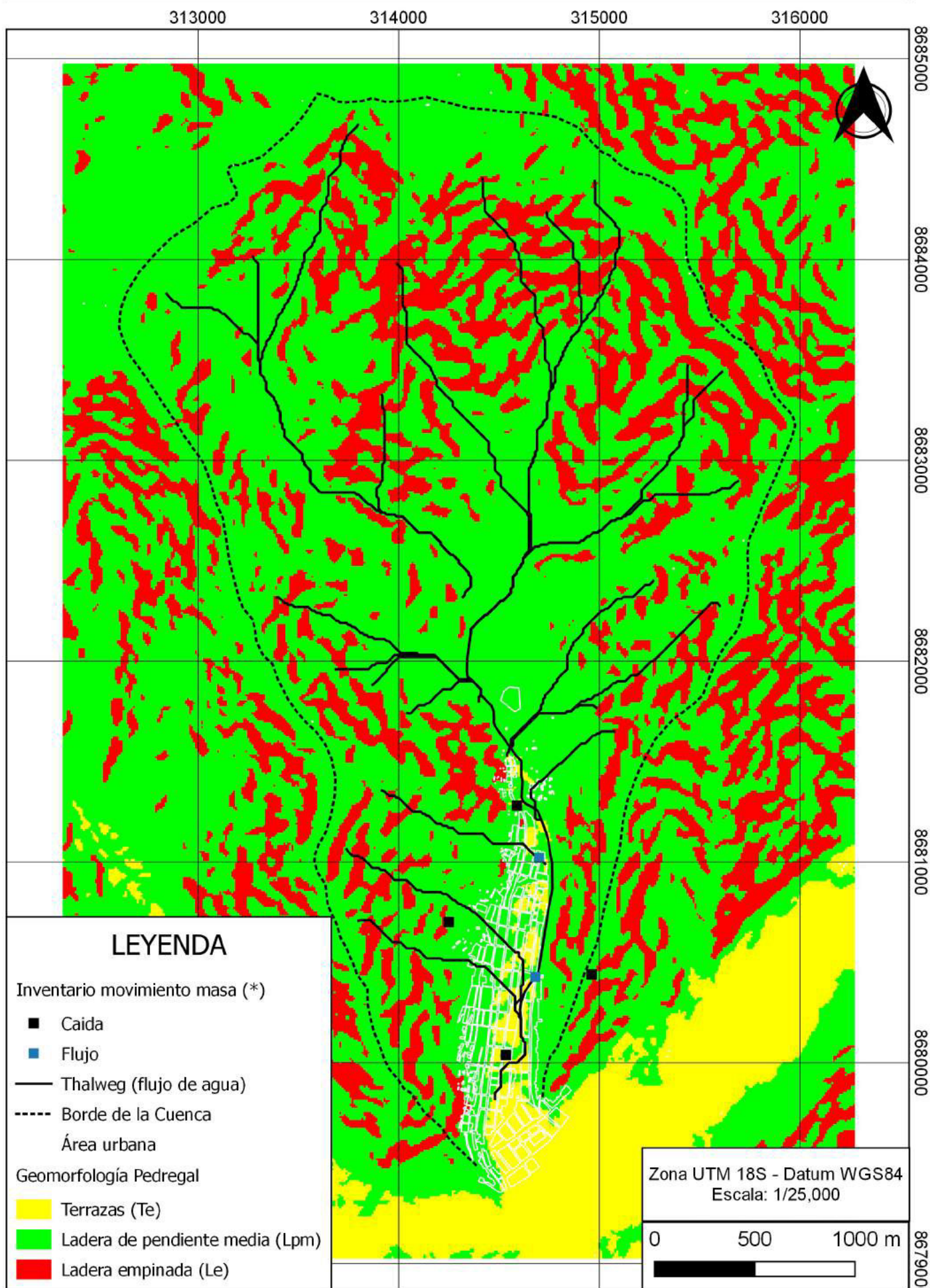
Zona	Geoformas existentes	Procesos (CENEPRED - SIGRID, 2017)
Zona 1	Lecho de la quebrada, talud, terraza	Flujo
Zona 2	Cárcava, depósito aluvional - coluvial, terraza, pie de colina	Flujo, Caída
Zona 3	Cárcava, depósito aluvional - coluvial, pie de colina	Flujo
Zona 4	Cárcava, depósito aluvional - coluvial, pie de colina	Flujo

Fuente. CENEPRED - SIGRID (2017) & Espinoza Pereyra (2017).

MAPA 17: PROPUESTA ZONIFICACIÓN PEDREGAL



MAPA 18: GEOMORFOLOGÍA PEDREGAL (10 m)



(*) Fuente. Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID) del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), 2017.

CAPITULO 5: IMPACTOS

5.1. Propuesta para la soluci3n del problema

Siendo el problema de la ocupaci3n y uso del suelo en la cuenca de la quebrada el Pedregal sumada al riesgo que existe por la geodin3mica propia, todo trabajo de zonificaci3n da como soluci3n el proponer una ocupaci3n de un territorio de acuerdo a sus componentes y caracter3sticas propias.

Hablando de las caracter3sticas, los modelos matem3ticos describen dichas caracter3sticas y da la opci3n al investigador el poder interactuar en la generaci3n de la informaci3n por lo mismo que ve cuales son las operaciones l3gico-matem3ticas que est3n detr3s de cada caracter3stica (como el caso de la topograf3a que gracias a los modelos matem3ticos se puede saber c3mo obtener la pendiente, orientaci3n, curvatura y rugosidad). Todo lo anterior le da m3s personalizaci3n al trabajo y al resultado final de la zonificaci3n.

5.2. Costos de implementaci3n de la propuesta

El material utilizado en esta tesis es gratuito: im3genes satelitales del Google Earth y descargadas con el programa SasPlanet (ver Anexo II, Cuadro 14) y la topograf3a cada 12.5 m de una imagen ALOS-PALSAR (ac3pite 2.3.4.4. Informaci3n MDT - R3ster). Tambi3n es gratuito el programa de visualizaci3n de la informaci3n QGIS y el programa C++ para la escritura de los algoritmos. En el Cuadro 11 se ven los costos totales:

Cuadro 11. Costos de la propuesta: Partidas y Sub partidas.

Oficina	Unidad	Valor Unitario	Valor Total
Honorario del investigador por mes	24	S/. 2,000.00	S/. 48,000.00
Laptop HP	1	S/. 2,000.00	S/. 2,000.00
millar de hojas A4 80 gr	2	S/. 55.00	S/. 110.00
Internet por mes	24	S/. 90.00	S/. 2,160.00
Fotocopias	1	S/. 200.00	S/. 200.00
Memoria USB 32gb	1	S/. 60.00	S/. 60.00
Tipeo por mes	12	S/. 850.00	S/. 10,200.00
Otros: f#deres, lapiceros, l#pices, cuaderno de notas, etc.	1	S/. 200.00	S/. 200.00
Honorarios del investigador por viaje	5	S/. 100.00	S/. 500.00
Movilizaci#n y desmovilizaci#n	10	S/. 10.00	S/. 100.00
Alimentaci#n	5	S/. 20.00	S/. 100.00
Botiqu#n primeros auxilios	5	S/. 20.00	S/. 100.00
Otros	5	S/. 20.00	S/. 100.00
TOTAL PROYECTO DE TESIS (*)			S/. 63,830.00

Nota. el monto total del proyecto de tesis puede variar de acuerdo a la cotizaci#n diaria de los productos y servicios mostrados.

Fuente. E laboraci#n propia.

5.3. Beneficios que aporta la propuesta

¿ Muestra y explica como es el proceso interno de la obtenci#n de las caracter#sticas de la topograf#a (pendiente, orientaci#n, curvatura y rugosidad) y como es la determinaci#n del thalweg (flujo aluvional) y la cuenca visual desde un punto sobre esta misma topograf#a gracias al uso de los modelos matem#ticos.

¿ Muestra una propuesta de caracterizaci#n de la dificultad de las v#as de la cuenca seg#n lo mostrado en el ac#pite 2.3.4.15. Caracterizaci#n de la dificultad de v#as de acuerdo a la topograf#a.

¿ La obtenci#n de los materiales y herramientas de procesamiento de la informaci#n es a muy bajo costo, solo se tendr#a que asumir el costo del personal calificado.

CONCLUSIONES

¿ De acuerdo al primer objetivo específico, la interpolación bicúbica y atendiendo a los resultados del Anexo IV, no remuestrea de forma adecuada la altitud topográfica comparada con la interpolación *topo to raster* del programa ArcGis de la empresa ESRI ÷. Especialmente la diferencia aritmética mencionada de la población total queda distribuida de manera que las diferencias menores de 0.5 m están localizados en las zonas bajas de la quebrada y en las divisorias de cuencas y microcuencas, las diferencias mayores de 1 m están distribuidas en las laderas de colina o montañas y las diferencias entre 0.5 a 1 m están distribuidas aleatoriamente pudiendo indicar que serían valores intermedios (Anexo IV, Mapa 20).

¿ De acuerdo al segundo objetivo específico, los modelos matemáticos describen adecuadamente las características topográficas de una cuenca y esto es avalado por las tesis utilizadas como antecedentes, artículos y bibliografía consultada, siempre y cuando se tenga información topográfica con una resolución adecuada.

¿ De acuerdo al objetivo general, se sugiere la clasificación de cuatro zonas (Mapa 17): Zona de atención aluvional (área del huayco de 1987 y descrita por O'Connor en 1988) con un área de 0.14 km², Zona de atención aluvional - vivienda restringida con un área de 0.85 km², Zona de atención aluvional - protección con un área de 6.65 km² y Zona de protección de 2.60 km²; de las cuales la zona de atención aluvional y la zona de atención aluvional - vivienda restringida son donde la mayoría de las viviendas están ubicados (apunte 4.3. Presentación de resultados). También se ha elaborado un mapa geomorfológico (Mapa 18) que de acuerdo a una clasificación propuesta por el Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2012) se tiene que las viviendas están sobre la zona de terrazas donde la pendiente topográfica es hasta los 15° y en las zonas de pendiente media (hasta los 35°) siendo esta última la zona donde se están extendiendo las nuevas viviendas.

¿ De acuerdo al CENEPRED - SIGRID existen procesos geomorfológicos como los flujos en las cuatro zonas mencionadas y solo caídas en la zona 2, mientras se presentan geoformas como lecho de quebrada, talud y terraza en la Zona 1; cárcava, depósito aluvial - coluvial, terraza y pie de colina en la zona 2; cárcava, depósito aluvial - coluvial y pie de colina en la zona 3 y zona 4 (Mapa 18).

RECOMENDACIONES

- ¿ Desde la primera conclusi3n, se recomienda investigar utilizando interpolaciones probabil3sticos como el krigado ya que de acuerdo a varios investigadores tiene buenos comentarios en el remuestreo de datos.
- ¿ Desde la segunda conclusi3n, teniendo informaci3n topogr3fica de menor separaci3n entre sus puntos, se podr3a tener una mayor caracterizaci3n de la pendiente, orientaci3n, curvatura, rugosidad, cuenca visual, estimaci3n de thalweg de c3rcavas o quebradas (flujo de agua y aluvional) y caracterizaci3n de las v3as y 3reas. Tambi3n se puede proponer la implementaci3n m3s modelos que incluya el c3culo o la estimaci3n del 3rea inundable.
- ¿ Tambi3n se recomienda un an3lisis comparativo entre los modelos topogr3ficos DEM tales como el ALOS-PALSAR (resoluci3n de 12.5 m), con un modelo digital de terreno proveniente de un levantamiento fotograf3mico para determinar que tan representativo seria el ALOS-PALSAR para una escala de trabajo al 25,000 y a una 3rea de 12.4 km² y atendiendo lo establecido por Zhang & Montgomery (1994) y Kienzle (2004) y citados por Correa Mu3oz (2012). Lo anterior puede dar m3s realce a la zonificaci3n del objetivo general.
- ¿ Del Mapa 20 se puede desprender un an3lisis sobre la comparaci3n de los resultados de la interpolaci3n bic3blica menos la interpolaci3n Topo to Raster_ (ESRI ÷, 2016) ya que se observa que la diferencia aritm3tica entre ambas interpolaciones menor a 0.5 m est3 asociada a las zonas bajas de la quebrada (la zona del flujo de agua o del thalweg) como en las divisorias de aguas (interreguero) y la diferencia aritm3tica mayor a 1 m est3 asociada a las zonas de las laderas de colina y monta3a.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrawal, R., Das, A. & Mohan S. (2014). Topographic correction of ALOS-PALSAR images using InSAR-derived DEM. Geocarto International. DOI: 10.1080/10106049.2014.883436. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/260190971_Topographic_correction_of_ALOS-PALSAR_images_using_InSAR-derived_DEM
- Aguilera-Alonso, M. (1983). Metodología para la evaluación de la fragilidad visual del paisaje. Informes de la Construcción, 34 (349) ,67-70. Recuperado de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/2035>
- Alaska Satellite Facility (2017). Terrain Corrected (RTC). Recuperado de <https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/terrain-corrected-rtc/>
- Alba Alonso, S., Alcaraz Torralba, M., Cermeño Martín, F. & Barbero Abolafio, F., (2011). Erosión y manejo del suelo. Importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos. Agricultura. Ecológica en secano: soluciones sostenibles en ambientes mediterráneos. Ministerio De Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 13-38.
- Alvarado Rodríguez, E. (2004). Modelación del proceso lluvia escurrimiento usando sistemas de información geográfica. (Tesis de título, Universidad de Piura). Recuperado de http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1186/ICI_110.pdf?sequence=1
- Arapa Quispe, J. (2012). Análisis numérico en ingeniería con aplicaciones en Matlab. Lima. Editorial de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

Armijos Toledo, J. (2012). Implementaci3n de un modelo lluvia escorrent3a de evento en el laboratorio virtual de hidrolog3a (HydroVLab). (Tesis de grado, Universidad T3cnica Particular de Loja). Recuperado de <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/2592/1/Tesis%20modelo%20de%20lluvia%20escorrentia%20de%20evento.pdf>

ASF DAAC 2010, ALOS PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_hi_res; Includes Material 0 J AXA/METI2007. Accedido desde ASF DAAC 17 Enero 2017. DOI: 10.5067/Z97HFCNKR6VA

Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2010). Evaluaci3n de los Recursos H3dricos en la Cuenca del R3o R3mac. Estudio Hidrol3gico y Ubicaci3n de la Red de Estaciones Hidrom3tricas en la Cuenca del Rio R3mac. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/1_estudio_hidrologico_cuenca_rimac_-_volumen_i_-_texto_-_final_2010_0.pdf

Barcia Nishikata, K. (2006). Centro cultural y recreacional en Chosica. (Tesis de t3tulo, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas). Recuperado de <http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/273319/1/KBarcia.pdf>

Berger Vidal, E., Gambini L3pez, I. & Vel3squez Pino, C. (2000). Simulaci3n de Sistemas. Notas del Instituto de Investigaci3n en Ciencias Matem3ticas. Recuperado de: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/Matematicas/Notas_instituto/Simulacion_sistemas.pdf

Berrospi Feliciano, J., Cuevas Cipriano, R., Gamarra Astuhuam3n, G. & Pujay Crist3bal, O. (2008). Estad3stica e Investigaci3n. Lima. Editorial San Marcos

Bioestadistico (24 de junio de 2010). 17 - Prueba de Kolmogorov-Smirnov: Demostraci3n de Normalidad (Curso de estad3stica) [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=E1OEAIgYHkU>

- Bosque Sendra, J. & Moreno Jiménez, A. (2004). Sistemas de Información Geográfica y localización de instalaciones y equipamientos. España: Ra-Ma
- Brenes Quesada, L. Gallo, M, Rodríguez Herrera, E. (2000). La cuenca baja del río Lempa. Ministerio del Medio Ambiente y recursos Naturales de el Salvador y el Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de <http://www.desenredando.org/public/varios/2001/riolempa/docs/hidrogeomorfologico.pdf>
- Bucarey López, V. (2014). Un modelo matemático para el diseño de territorios basado en el plan cuadrante de seguridad preventiva de carabineros de Chile. (Tesis de maestría, Universidad de Chile). Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/115585/cf-bucarey_vl.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Buckley, A. (2010). Understanding curvature rasters. ESRI ÷ . Recuperado de <https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/10/27/understanding-curvature-rasters/>
- Buckley, A., Kimerling, J., Muehrcke, P. & Muehrcke, J. (2011). Map use : Reading Analysis Interpretation, Seventh Edition
- Burrough, P.A. & McDonnell, R.A. (1998). Principles of Geographical Information Systems. Editorial de la Universidad de Oxford.
- Carrillo H., N. & Guadalupe G., E. (2012). Caracterización y análisis de los huaycos del 5 de abril del 2012 Chosica - Lima. Revista del Instituto de Investigación (RIIGO), FIGMG-UNMSM, 15 (29) ,69-82. Recuperado de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:2yNB-uYfPMcJ:revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigo/article/download/2206/1917+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=pe>

- Castro Aragón, E. & Carrasco Villota, L. (2011). Utilización de modelos matemáticos para la formulación de una propuesta de gestión ambiental en la zona noroccidental del Río Cali. (Tesis de grado, Universidad Tecnológica de Pereira). Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1855/1/333715C355u.pdf>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres - CENEPRED (2014). Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales. Recuperado de <http://www.cenepred.gob.pe/web/descargas/Guias-Manuales/MANUAL-EVAR.INUNDACIONES.pdf>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres - CENEPRED (2017). Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID). Recuperado de sigrid.cenepred.gob.pe/sigrid/
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1987). Nuestro Futuro Común. Recuperado de <http://www.ayto-toledo.org/medioambiente/a21/BRUNDTLAND.pdf>
- Consejo Nacional del Ambiente (CONAM, 28 de abril de 2006). Metodología para la Zonificación Ecológica y Económica. [Decreto del Consejo Directivo del CONAM N° 010-2006-CONAM-CD]. DO: el Peruano. Lima, 26 de junio de 2006, n°m. 9509, pp. 322546-322558.
- Congreso de la República del Perú. (4 de junio de 2004) [Ley N° 28245]. Ley marco del sistema nacional de gestión ambiental. PO: el Peruano. Lima, 8 de junio de 2004, n°m. 8753, pp. 269961-269967.
- Cornejo, S. & Díaz, D. (2014). Interpolación de Lagrange. Recuperado de <http://documents.mx/download/link/interpolacion-de-lagrange-56078d9e48bf6>

Correa Muñoz, N (2012). Método para la caracterización de las formas del terreno en zonas de montaña utilizando Modelos Digitales de Elevación. Caso: Departamento del Cauca. (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/11967/1/795078_2012.pdf

De la Torre Escudero, J. (S.F.). Páginas de docencia de Joaquina de la Torre Escudero: ¿Qué es un modelo? Universidad Autónoma de Madrid. Recuperado de https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/joaquina/BOXES-POP/que_es_un_modelo.htm

Domingos Da Silva, D. (2015). Estrategia para el diseño de redes de drenaje pluvial, empleando la modelación matemática, para su aplicación en la ciudad de Luanda. (Tesis doctoral, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría) Recuperado de <http://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2015/05/Tesis-Completa-Ultima.pdf>

Domínguez, S., Velásquez, S., Jiménez, F. & Faustino, J. (2008). Zonificación ambiental para el ordenamiento territorial de la subcuenca bimunicipal del río Aguas Calientes, Nicaragua. Recursos Naturales y Ambiente 55,64-73. Recuperado de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6930/Zonificacion_ambiental_para_el_ordenamiento.pdf;jsessionid=ECA226286422A0D0F33857311F583834?sequence=2

Esquerro Fernández, J. (2012). Iniciación a los métodos numéricos. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/489813.pdf>

ESRI÷ (1998). ESRI Shapefile Technical Description. Recuperado de <https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>

ESRI÷ (2016a). Datos continuos y discretos. Recuperado de <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//00q8000000n8000000>

- ESRI÷ (2016b). ESRI GIS Dictionary. Recuperado de <http://support.esri.com/other-resources/gis-dictionary>
- ESRI÷ (2016c). Cómo funciona Orientación. Recuperado de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-aspect-works.htm>
- ESRI÷ (2016d). Como funciona Curvatura. Recuperado de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-curvature-works.htm>
- ESRI÷ (2016e). Cómo funciona De topo a ráster. Recuperado de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-topo-to-raster-works.htm>
- Felicesimo, A. (1994). Modelos Digitales del Terreno. Recuperado de <http://www6.uniovi.es/~feli/pdf/libromdt.pdf>
- Felicesimo, A. (2001). Descripción y análisis del relieve. Recuperado de http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema_4.pdf
- Fuentes Delgado, J. (2009). Aplicación de la geomorfometría para la definición de unidades fisiográficas de paisaje en una zona piloto del Parque Nacional Natural Puracé. (Trabajo de grado, Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales). Recuperado de http://www.clas.umss.edu.bo/biblioteca/tesis/tierras/JEFDTierras_TG.pdf
- Fundación Mamaskato (2012). Plan de ordenamiento y manejo de la subcuenca hidrográfica de los ríos Sambingo-Hato Viejo, Municipios de Bolívar, Mercaderes y Florencia. Departamento del Cauca. Recuperado de <http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POMCH/Rio%20Sambingo-Hatoviejo/Zonificacion%20Ambiental.pdf>

- Gaspar Vera, A., García Barassi, M. & Brie S. (2014). La zonificación ambiental del territorio como instrumento para la gestión urbana: el caso del partido de Lanús. Universidad Nacional de Lanús. Recuperado de http://ciottig.estudiomanta.com/trabajos/Ordenamiento/16_Garc%C3%ADa%20Barassi.pdf
- Gonzalo López, W. & Osorio Amaya R. (2005). Modelo digital de elevación para la cuenca del Río de Oro. (Proyecto de grado, Universidad Industrial de Santander). Recuperado de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1664/2/117028.pdf>
- Gonçalves Simões, M. (1993). Modeladores digitais de terreno em sistemas de informação geográfica. (Tesis de maestría, Universidade Federal do Rio de Janeiro). Recuperado de http://www.eng.uerj.br/~maggie/tese_mestrado.pdf
- Hernández Coca, G. (2011). Tipos de Modelos en Investigación de Operaciones. Recuperado de: http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/huejutla/sistemas/investigacion_operaciones/modelos.pdf
- IBM Corp. Released 2012. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Colombia (2012). Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/11769/152732/Metodologia+suscept+FRM_oficial_final.pdf/6ded04e2-9378-440f-8902-2e6c92fcc745
- Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP, S.F.). Capítulo 3. Zonificación Ecológica Económica (ZEE). Recuperado de http://www.iiap.org.pe/upload/Publicacion/C_Dinvestigacion/iiap/iiap3/iiap3-03.htm

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental Ing. Oscar J. Maggiolo_ (2010). Sistema Hidrológico. Universidad de la República - Uruguay. Recuperado de https://www.fing.edu.uy/imfia/imfiaweb/sites/default/files/01_Sistema_Hidrologico_2010.pdf

Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2012). Zonificación Sísmica - Geotécnica Del Área Urbana De Chosica (Comportamiento Dinámico del Suelo). Recuperado de <http://www.indeci.gob.pe/userfiles/ZONIFICACION%20SISMICA%20-%20GEOTECNICA%20DEL%20AREA%20URBANA%20DE%20CHOSICA%20-%20IGP%20-%20MINAM.pdf>

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1992). Boletín N°43, Serie A: Carta Geológica Nacional, Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.ingemmet.gob.pe:84/xmlui/handle/123456789/2796>

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2005). Mapa de peligros y plan de usos del suelo y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Chosica. Recuperado de http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Lima/lima/chosica_R.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2000). Estimaciones y Proyecciones de Población por Sexo, según Departamento, Provincia y Distrito, 2000 - 2015. Recuperado de <http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0842/index.htm>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2010). Mapa de pobreza provincial y distrital 2009. Recuperado de <http://www.unfpa.org.pe/publicaciones/publicacionesperu/INEI-Mapa-Pobreza-2009.pdf>

- Izquierdo, L. (2007). Introducci3n a la Programaci3n Orientada a Objetos. Recuperado de <http://luis.izqui.org/resources/ProgOrientadaObjetos.pdf>
- Jet Propulsion Laboratory (2004). ASTER, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. Recuperado de <https://asterweb.jpl.nasa.gov/>
- Jet Propulsion Laboratory (2016). SRTM, Shuttle Radar Topography Mission. Recuperado de <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mission.htm>
- Joyanes Aguilar, L. (1996). Programaci3n orientada a objetos. Madrid, Espa3a: Editorial McGraw-Hill
- Kienzle (2004). The effect of DEM raster resolution on first order, second order and compound terrain derivatives. Transactions in GIS 8 (1), 83-111.
- Laboratorio de Modelizaci3n de la Universidad de Murcia (2015). Clasificaci3n de Modelos. Recuperado de <http://www.um.es/fem/PersonalWiki/pmwiki.php/EsModelling/IntroClases>
- Letelier Santib3ez, T. (2003). An3lisis de algoritmos de localizaci3n 3ptima y su implementaci3n en sistemas de informaci3n geogr3fica. (Tesis de t3tulo, Universidad Austral de Chile). Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/bmfcil645a/doc/bmfcil645a.pdf>
- L3pez Fuentes, C. (2011). An3lisis hidrol3gico en cuencas con informaci3n escasa. (Tesis de maestr3a, Universidad Nacional Aut3noma de M3xico). Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4545/TESES.pdf?sequence=1>

- Manchado del Val, C. (2015). Análisis de criterios de visibilidad e impacto visual. Metodología de uso en proyectos de infraestructuras. (Tesis doctoral, Universidad de Cantabria). Recuperado de <http://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/6561>
- Marcel, M. (2010). Magnitudes continuas y magnitudes discretas. Recuperado de <http://marcelmane.com/espanol/fisica/Magnitudes%20continuas%20y%20magnitudes%20discretas.htm>
- Masmela Díaz, P. (2010). El paisaje como elemento de la ordenación territorial. Un análisis de paisaje desde su enfoque visual en el borde centro oriental de Medellín, Colombia. (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3734/>
- MapInfo Corporation (1999). The MapInfo Interchange File (MIF) Format Specification. Recuperado de http://read.pudn.com/downloads138/sourcecode/others/592839/Mapinfo_Mif.pdf
- Marques Dos Santos, M. J. (2005). Contrastes de Hipótesis. Recuperado de <http://colposfesgaleon.com/inferencia/teoria/conhip.htm>
- Massiris Cabeza, A. (1993). Bases teórico-metodológicas para estudios de ordenamiento territorial, IDCAP, Mision Local, Instituto de Desarrollo del Distrito Capital y la Participación Ciudadana y Comunitaria IDCAP, 2. Universidad Distrital, Santa Fe de Bogotá
- Mateo Lázaro, J. (2010). Hidrología de crecidas en pequeñas y medianas cuencas. Aplicación con modelos digitales del terreno. (Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza). Recuperado de <https://zaguan.unizar.es/record/5750/files/TESIS-2011-031.pdf>

Ministerio de Agricultura (01 de setiembre de 2009). [Decreto Supremo N° 017-2009-AG]. Aprueban Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor. DO: el Peruano. Lima, 02 de setiembre de 2009, n°m. 10719, pp. 401820-401837.

Ministerio de Desarrollo Social de Chile (2006). Cuaderno 1: Zonificación para la planificación. Recuperado de <http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/btca/txtcompleto/mideplan/cuad1-zon.planterrit.pdf>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). Manual de Carreteras, Diseño Geométrico (DG - 2013). Recuperado de [http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/DISEÑO%20GEOMÉTRICO%20DE%20CARRETERAS%20\(DG-2013\).pdf](http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/DISEÑO%20GEOMÉTRICO%20DE%20CARRETERAS%20(DG-2013).pdf)

Ministerio del Ambiente. (23 de febrero de 2010). Lineamientos de Política para el Ordenamiento Territorial. [Resolución Ministerial N° 026-2010-MINAM]. DO: el Peruano. Lima, 26 de febrero de 2010, n°m. 10909, pp. 414607-414608.

Ministerio del Ambiente. (3 de mayo de 2013). Aprueban la Guía Metodológica para la Elaboración de los Instrumentos Técnicos Sustentatorios para el Ordenamiento Territorial. [Resolución Ministerial N° 135-2013-MINAM]. DO: el Peruano. Lima, 8 de mayo de 2013, n°m. 12447, pp. 494359-494367.

Ministerio del Ambiente del Perú (2014). Orientaciones básicas sobre el Ordenamiento Territorial en el Perú. Recuperado de http://www.aptae.pe/archivos_up/0105-orientaciones-basicas-sobre-ordenamiento-territorial-en-el-per-minam.pdf

Ministerio del Ambiente del Perú (2016a). Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/gestion-ambiental/>

- Mobayed Khodr, N. (2001). Modelo distribuido de lluvia - esorrenta basada en el manejo de variables geo-referenciadas y escalamiento fisiográfico de cuencas. (Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México). Recuperado de <http://132.248.9.195/pdtestdf/0297556/Index.html>
- Monografías (2016). La Zonificación Ambiental del Componente Biótico. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos14/zonificambiental/zonificambiental.shtml>
- Moreno Ibarra, M. (2007). Similitud semántica entre sistemas de objetos geográficos aplicada a la generalización de datos geoespaciales. (Tesis doctoral, Instituto Politécnico Nacional). Recuperado de http://azul.bnct.ipn.mx/tesis/repositorio/2575_2007_CIC_DOCTORADO_moreno_ibarra_marcoantonio.pdf
- O'Connor Salmón, H. (1988). Investigación del Huayco de Chosica 1987, sus efectos y medidas de mitigación. (Tesis de Título). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.
- Olaya Ferrero, V. (2004). Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno. Recuperado de http://andersonmedeiros.com/ebooks/Hidrologia_Computacional_MDT_SIG.pdf
- Olaya Ferrero, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. Recuperado de https://github.com/volaya/libro-sig/releases/download/v2.0/Libro_SIG.pdf
- Organización de las Naciones Unidas (2011). Equilibrar los pilares para el desarrollo sostenible. Recuperado de <http://www.un.org/es/development/desa/news/sustainable/desarrollo-sostenible.html>

Organización Mundial de la Salud (2016). Cambio climático y salud humana - Bienes y servicios de los ecosistemas para la salud. Recuperado de <http://www.who.int/globalchange/ecosystems/es/>

Ortiz Hinojosa, M. (2012). Estudio del paisaje. Como determinante en la implantación de los proyectos arquitectónicos. Estudios de caso para la Casa de Convivencias en Icto-Cruz. (Tesis de título, Universidad de Cuenca). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/571>

Porta Trinidad, J. (2013). Sistemas de información geográfica y algoritmos de optimización aplicados a problemas geoespaciales en la Administración de Tierras. (Tesis doctoral, Universidad de A Coruña). Recuperado de <http://gac.udc.es/tesis/JuanPortaTrinidad.pdf>

Presidencia del Consejo de Ministros (PCM, 26 de abril de 2001). Constituyen la Comisión Nacional para el Ordenamiento Territorial Ambiental. [Decreto Supremo N° 045-2001-PCM]. DO: el Peruano. Lima, 27 de abril de 2001, n°m. 8991, pp. 201956-201958.

Presidencia del Consejo de Ministros (PCM, 16 de diciembre de 2004). Aprueban el reglamento de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE). [Decreto Supremo N° 087-2004-PCM]. DO: el Peruano. Lima, 23 de diciembre de 2004, n°m. 8954, pp. 282962-282967.

Presidencia del Consejo de Ministros (PCM, 24 de enero de 2005). Aprueban Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. [Decreto Supremo N° 08-2005-PCM]. DO: el Peruano. Lima, 28 de enero de 2005, n°m. 7613, pp. 285593-285606.

Proyecto de adaptación al impacto del retroceso acelerado de glaciares de los andes tropicales (PRAA PERÚ - 2011). Estudio de mapas ALOS, Jun°n. Recuperado de <http://www.care.org.pe/wp-content/uploads/2015/06/Estudio-ALOS-Junin.pdf>

- Proyecto Instituto Nacional de Defensa Civil - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (INDECI - PNUD, 2005). Mapa de peligros y plan de usos del suelo y medidas de mitigación antes desastres de la ciudad de Chosica. Recuperado de http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Lima/lima/chosica_R.pdf
- Quintero Bertel, Q. & Pérez Cardozo, R. (2004). Zonificación agrícola como herramienta básica para el ordenamiento ambiental de un territorio. (Caso: Tolúviejo - Sucre). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de http://www.docentes.unal.edu.co/qarquinterob/docs/ARTICULO_FUAC.pdf
- Ramírez Osorio, J. (2002). Extracción automática de redes de drenaje a partir de modelos digitales de terreno. (Tesis de título, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de http://www.unalmed.edu.co/~jmramirezo/Jorge_Ramirez/Hoja_de_Vida_files/Pregrado.pdf
- Real Academia Española. (RAE, 2014). Diccionario de la lengua española (23ª ed.). Recuperado de <http://www.rae.es/rae.html>
- Rodas Gómez, F. (2014). Planificación de la cuenca hidrográfica como generadora de desarrollo en la República de Guatemala. (Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3787_C.pdf
- Rodríguez Velázquez, J. & Steegmann Pascual, C. (2002). Modelos matemáticos. Universitat Oberta de Catalunya (UOC). Recuperado de http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Modelos_matematicos.pdf
- Santana Juárez, M. (2004). La importancia del ordenamiento territorial. Recuperado de <http://www.ciefa.org/acrobat/modulos/LECTURA%20TRES%20MODULO%20OCHO%20GAOT.pdf>

SERCITEC & Geoingeniería (2002). Diagnóstico Ambiental de Alternativas para la Ubicación del Parque Minero Industrial en la Provincia de Pedernales. Unidad Corporativa Minera. Santo Domingo. República Dominicana.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI (2017) Datos históricos. Recuperado de <http://www.senamhi.gob.pe/?p=data-historica>

SWAT (2016, 26 de mayo). Recuperado de <http://swat.tamu.edu/>

Tovar Sanz, G. (1996). La cuenca visual en el análisis del paisaje. Serie Geográfica, 6, 99-113. Recuperado de <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/1052/La%20Cuenca%20Visual%20en%20el%20Análisis%20del%20Paisaje.pdf?sequence=1>

Torres Muñoz, M. (1998). Zonificación ambiental de una cuenca hidrográfica. Recuperado de repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/1578/1/zonificacionambiental.pdf

Universidad Externado de Colombia (2015). Manual de Citación. Normas APA. [sexta edición]. Recuperado de <http://biblioteca.uexternado.edu.co/b1B1073k4/wp-content/uploads/Manual-de-citaci%C3%B3n-APA-v7.pdf>

Villacorta, S., Nájuez, S., Huarez, C. & Fidel, L. (abril, 2015). Evaluación geológica y consecuencias de los huaicos de Chosica del 23-03-15: Crónica de un desastre anunciado. Trabajo presentado en los Miércoles Geológicos de la Sociedad Geológica del Perú [SGP], Lima, Perú

- Villegas Juárez, V. (2007). Identificación de conceptos geomorfológicos en modelos digitales de elevación. (Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional). Recuperado de <http://www.saber.cic.ipn.mx/cake/SABERsvn/trunk/Repositorios/webVerArchivo/332/1>
- Vinueza Pérez, I. (2012). Evaluación del uso de imágenes Aster en la derivación de parámetros morfométricos para la caracterización de unidades geomorfológicas a escala 1:25000 de la microcuenca del Río Cristal. (Proyecto de grado, Escuela Politécnica del Ejército). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7923/1/T-ESPE-033037.pdf>
- Wikipedia. (2016). Atan2. Recuperado de <https://en.wikipedia.org/wiki/Atan2>
- Wolfram MathWorld (2016). Point. Recuperado de <http://mathworld.wolfram.com/Point.html>
- Zhang, W.H., Montgomery, D.R. (1994). Digital elevation model grid size, landscape representation and hydrological simulations. *Water Resources Research*. 30 (4), 1019 - 1028.
- Zubieta Barragán, R. (2013). Modelado hidrológico distribuido de la cuenca amazónica peruana utilizando precipitación obtenida por satélite. (Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/2013/Tesis_RZubieta.pdf
- Zuleta Salmon, C. (2013). Análisis del comportamiento del recurso hídrico ante cambios en el uso del suelo y el cambio climático en la cuenca del río Pejibaye, Costa Rica. (Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A11471e/A11471e.pdf>

ANEXOS

I. Procedimiento de la toma de datos en la cuenca de la quebrada el Pedregal

A. Observación

Consiste en, estando en la cuenca de la quebrada el Pedregal, observar:

- ¿ Los procesos geodinámicos que suceden y los rastros de los mismos, y
- ¿ La topografía, el cauce de la quebrada el Pedregal, las vertientes que drenan hacia el cauce de la quebrada el Pedregal, los accesos, la disposición de las viviendas, áreas de cultivo y de las actividades socioeconómicas, áreas verdes, algunos puntos de interés que pueden ser convenientes como torres de alta tensión, puentes, rejillas de contención de deslizamiento de lodo, entre otros.
- ¿ Las actividades sociales que realizan los pobladores de la cuenca.

Para el registro de esta información, se plantea el uso de tres herramientas:

- ¿ Captura de fotografías, que registra una imagen de la situación actual (in situ) de la cuenca de la quebrada el Pedregal;
- ¿ Captura de puntos mediante el sistema GNSS navegador, y
- ¿ La toma de algunas notas de alguna consideración adicional.

Con el resultado de la observación es corroborar lo que se ha estimado con los modelos matemáticos y mejorar el funcionamiento de los mismos.

B. Entrevista

Consiste en, estando en la cuenca de la quebrada el Pedregal, entrevistar a los pobladores sobre:

- ¿ Los procesos geodinámicos y la descripción paisajística de la cuenca, formulando coloquialmente preguntas tales como:
- ¿ El número de huaycos que ha habido desde el año 2015 hasta la fecha de la visita;
- ¿ Los planes de prevención ante desastres, y
- ¿ Qué piensa de la cuenca, si es un lugar apropiado para vivir.
- ¿ Actividades socioeconómicas y de vivienda, formulando coloquialmente preguntas tales como:
- ¿ Nombres de las calles y de las asociaciones de vivienda que existen;
- ¿ Si el alcalde o algún miembro de la municipalidad distrital de Lurigancho - Chosica viene al lugar y ofrece alguna ayuda;
- ¿ Si tienen otros lugares para vivir, y
- ¿ Sobre la expansión del área urbana en la cuenca.

Se puede formular más preguntas de otros temas, siendo abierto el rango de respuestas que se espera obtener. Se utilizará la toma de notas para el guardado de la información que se obtenga de las entrevistas.

II. Archivos de salida como resultado de la utilización de los modelos matemáticos

A continuación se muestra la estructura de la información vectorial y raster para la presente investigación:

A. Información vectorial de Pedregal

a) Dificultad de V^oas: La dificultad de v^oas (ver acápite 2.3.4.15.) de la cuenca de la quebrada el Pedregal estará almacenada en el archivo shapefile PEDREGAL_DIFICULTAD_VIAS.shp y tendrá la siguiente estructura en sus campos (Cuadro 12):

Cuadro 12. Estructura del archivo PEDREGAL_DIFICULTAD_VIAS.shp.

Nombre	Tipo	Longitud	Decimales	Valores
NOMBRE	Texto	30	0	Nombre de la v ^o a
VIA	Número	3	0	Numero de tramo de la v ^o a
ANCHO	Número	9	5	Anchos de los tramos de las v ^o as en metros
PAV	Número	1	0	3 (Asfaltado), 2 (Afirmado), 1 (Sendero) para cada tipo de tramo
LONG	Número	9	5	Longitudes de los tramos de las v ^o as en metros
PEND_L	Número	9	5	Pendiente longitudinal de los tramos en grados sexagesimales
DIF_ABS	Número	19	10	Valor de la dificultad de acuerdo a la fórmula $\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{L^2}{V^2}}}$
DIF_REL	Número	19	10	Porcentaje de la dificultad de la v ^o a con respecto a la suma total de los valores en la columna DIF_ABS

Fuente. Elaboración propia.

b) Determinación del thalweg (Flujo de agua): el thalweg determinado (flujo de agua) es calculado de acuerdo al acápite 2.3.4.14. (Descripción del Modelo Matemático para la estimación del Thalweg de una c^ocava o quebrada) de la cuenca de la quebrada el Pedregal estará almacenada en el

archivo shapefile PEDREGAL_THALWEG_FLUJO_AGUA.shp y tendrá la siguiente estructura en sus campos (Cuadro 13):

Cuadro 13. Estructura del archivo PEDREGAL_THALWEG_FLUJO_AGUA.shp.

Nombre	Tipo	Longitud	Decimales	Valores
NOMBRE	Texto	20	-	Nombre asignado
RASTER	Texto	20	-	Tipo de raster asociado: CURVATURA + RUGOSIDAD; CURVATURA o GOOGLE EARTH

Fuente. Elaboración propia.

B. Información MDT - Raster de Pedregal

El Raster de Pedregal proveniente de un mosaico de imágenes del Google Earth será utilizado para tener un control de los objetos que existen en la cuenca, obviamente, estas imágenes tendrán un proceso de actualización que consiste en contrastar la información que existe en la imagen con lo que realmente existe en la cuenca.

Este mosaico de imágenes tiene las siguientes características (Cuadro 14):

Cuadro 14. Características del mosaico de imágenes del Google Earth

Característica	Descripción
Software de donde se visualizan las imágenes	Google Earth
Software de donde se descargaron las imágenes	SAS Planet
Imagen satelital	DigitalGlobe
Fecha de las imágenes	3/30/2014
Proyección	Geográfica
Datum	WGS 84
Numero de imágenes	118
Largo de cada imagen del mosaico aproximado	275 m
Ancho de cada imagen del aproximado	484 m
Formato (extensión) de cada imagen	jpg

Fuente. Elaboración propia.

Los MDT estarán almacenados en archivos con extensión asc (ver anexo 2.3.4.4. Información MDT - Resumen) y se nombran de forma genérica a continuación (Cuadro 15):

Cuadro 15. Listado de MDT-grillas generados en esta investigación.

MDT-grillas	Representación
PEDREGAL_TOPO_ALOS-PALSAR_BICUBICA_10m.asc	topografía interpolada cada 10 m
PEDREGAL_PENDIENTE_ALOS-PALSAR_BICUBICA_10m.asc	pendiente cada 10 m
PEDREGAL_ORIENTACION_ALOS-PALSAR_BICUBICA_10m.asc	orientación cada 10 m
PEDREGAL_CURVATURA_ALOS-PALSAR_BICUBICA_10m.asc	curvatura cada 10 m
PEDREGAL_RUGOSIDAD_ALOS-PALSAR_BICUBICA_10m.asc	rugosidad cada 10 m
PEDREGAL_CV_ALOS-PALSAR_BICUBICA_10m_TOTAL.asc	cuenca visual cada 10 m
PEDREGAL_ZONIFICACION.asc.	Propuesta de zonificación

Fuente. Elaboración propia.

Toda la información mostrada está georeferenciada en la proyección UTM Zona 18S y en el datum WGS84.

III. Diseño de los algoritmos que representen a los Modelos Matemáticos

A. Punto

De acuerdo al acápite 2.3.4.6. (Punto) el algoritmo de un punto queda definido por:

```
Algoritmo Punto
Definir x Como Real;
Definir y Como Real;
Definir z Como Real; // también nulo
Definir m Como Real; // también nulo

Inicializa_Punto(x, y, z, m)

Subalgoritmo Inicializa_Punto(_x, _y, _z, _m)
x <- _x;
y <- _y;
z <- _z;
m <- _m
Fin_Subalgoritmo Inicializa_Punto

Fin_Algoritmo Punto
```

B. Polilínea

Algoritmicamente y de acuerdo al acápite 2.3.4.7. (Polilínea) una parte de polilínea queda definida como:

```
Algoritmo Parte_Polilínea
Definir n, i como Entero;
```

```

Definir coordenada como un texto;
Definir máximo_mínimo como un texto;
Dimensión Puntos[n];

M ximo_M nimo_XYZM( coordenada, m ximo_m nimo);
N mero_puntos();
Insertar_punto( punto_a_insertar);
Leer_punto(i);

Función Resultado <- M ximo_M nimo_XYZM( tipo_coord, m ximo_m nimo)
  Si ( coordenada == 'x' Y m ximo_m nimo == 'máximo' ) entonces
    Resultado <- máximo valor de la coordenada x;
  Fin_Si

  Si ( coordenada == 'y' Y m ximo_m nimo == 'máximo' ) entonces
    Resultado <- máximo valor de la coordenada y;
  Fin_Si

  Si ( coordenada == 'z' Y m ximo_m nimo == 'máximo' ) entonces
    Resultado <- máximo valor de la coordenada z;
  Fin_Si

  Si ( coordenada == 'm' Y m ximo_m nimo == 'máximo' ) entonces
    Resultado <- máximo valor de la coordenada m;
  Fin_Si

  Si ( coordenada == 'x' Y m ximo_m nimo == 'mínimo' ) entonces
    Resultado <- mínimo valor de la coordenada x;
  Fin_Si

  Si ( coordenada == 'y' Y m ximo_m nimo == 'mínimo' ) entonces
    Resultado <- mínimo valor de la coordenada y;
  Fin_Si

  Si ( coordenada == 'z' Y m ximo_m nimo == 'mínimo' ) entonces
    Resultado <- mínimo valor de la coordenada z;
  Fin_Si

  Si ( coordenada == 'm' Y m ximo_m nimo == 'mínimo' ) entonces
    Resultado <- mínimo valor de la coordenada m;
  Fin_Si
Fin_Funci n

Función Resultado <- N mero_puntos()
  Resultado <- Cuenta la cantidad de elementos de Puntos;
Fin_Funci n

Función Insertar_punto ( punto_a_insertar)
  n <- N mero_puntos();
  Puntos[n] <- punto_a_insertar;
Fin_Funci n

Función Resultado <- Leer_punto ( i)
  Resultado <- Puntos[i];
Fin_Funci n

Fin_Algoritmo Parte_Polil nea

```

Y para una polilínea, algorítmicamente queda definida como:

```

Algoritmo Polilínea
Definir n, i Como Entero;
Dimensión Partes_Polilínea[n];
Definir coordenada como un texto;
Definir máximo_m nimo como un texto;

M ximo_M nimo_XYZM(coordenada, m ximo_m nimo);
N mero_partes();
Insertar_parte(punto_a_insertar);
Leer_parte(i);

Función Resultado <- M ximo_M nimo_XYZM(coordenada, m ximo_m nimo)
  Si (coordenada == 'x' Y m ximo_m nimo == 'máximo') entonces
    Resultado <- máximo valor de la coordenada x de las partes;
  Fin_Si

  Si (coordenada == 'y' Y m ximo_m nimo == 'máximo') entonces
    Resultado <- máximo valor de la coordenada y de las partes;
  Fin_Si

  Si (coordenada == 'z' Y m ximo_m nimo == 'máximo') entonces
    Resultado <- máximo valor de la coordenada z de las partes;
  Fin_Si

  Si (coordenada == 'm' Y m ximo_m nimo == 'máximo') entonces
    Resultado <- máximo valor de la coordenada m de las partes;
  Fin_Si

  Si (coordenada == 'x' Y m ximo_m nimo == 'mínimo') entonces
    Resultado <- mínimo valor de la coordenada x de las partes;
  Fin_Si

  Si (coordenada == 'y' Y m ximo_m nimo == 'mínimo') entonces
    Resultado <- mínimo valor de la coordenada y de las partes;
  Fin_Si

  Si (coordenada == 'z' Y m ximo_m nimo == 'mínimo') entonces
    Resultado <- mínimo valor de la coordenada z de las partes;
  Fin_Si

  Si (coordenada == 'm' Y m ximo_m nimo == 'mínimo') entonces
    Resultado <- mínimo valor de la coordenada m de las partes;
  Fin_Si
Fin_Funci n

Función Resultado <- N mero_partes()
  Resultado <- Cuenta la cantidad de objetos de
  Partes_Polilínea; Fin_Funci n

Función Insertar_parte (parte_a_insertar)
  n <- N mero_partes();
  Partes_Polilínea[n] <- parte_a_insertar;
Fin_Funci n

Función Resultado <- Leer_parte(i)
  Resultado <- Partes_Polilínea[i];
Fin_Funci n

Fin_Algoritmo Polilínea

```

C. Grilla

De acuerdo al algoritmo 2.3.4.8. (Grilla), una grilla queda representada en el siguiente algoritmo:

```

Algoritmo Grilla
Definir i, j como Entero;
Dimensión Valores[i,j]; //Valores de los puntos que conforman la grilla
Definir Pix_Alto como Real; //longitud en el eje Y del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Pix_Ancho como Real; //longitud en el eje X del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Filas como Entero; //Número de filas de la grilla
Definir Columnas como Entero; //Número de columnas de la grilla
Definir X como Real; //Coordenada base en el eje X de la grilla
Definir Y como Real; //Coordenada base en el eje Y de la grilla
Definir V_Max como Real; //Valor máximo de la grilla
Definir V_Min como Real; //Valor mínimo de la grilla
Definir V_Nulo como Real; //Valor Nulo de la grilla
Definir ruta_archivo; // ruta en el ordenador con los puntos topográficos;

Crear_Grid(Pixel_Alto, Pixel_Ancho, Filas, Columnas, X, Y, V_Nulo);
Leer_Grid(ruta_archivo, Pix_Alto, Pix_Ancho, Filas, Columnas, X, Y,
V_Nulo); Pixel_a_UTM(Punto);
UTM_a_Pixel(Punto);
Fin_Algoritmo Grilla

Subalgoritmo Crear_Grid (_Pix_Alto, _Pix_Ancho, _Filas, _Columnas, _X, _Y, _V_Nulo)
Pix_Alto <- _Pix_Alto;
Pix_Ancho <- _Pix_Ancho;
Filas <- _Filas;
Columnas <- _Columnas;
X <- _X;
Y <- _Y;
V_Nulo <- _V_Nulo;
Fin_Subalgoritmo

Subalgoritmo Leer_Grid (_ruta_archivo, _Pix_Alto, _Pix_Ancho, _Filas, _Columnas, _X,
_Y, _V_Nulo)
Definir a, b, k como Entero;
Dimensión Valores_Topo[a,b];
Definir _V_Max como Real;
Definir _V_Min como Real;
Definir L°nea_XYZ como Texto;

a <- 0;
b <- 0;
k <- 0;
_V_Max <- _V_Nulo;
_V_Min <- _V_Nulo;
Leer_Archivo_TXT desde _ruta_archivo;

Mientras (no es final de Archivo_TXT) hacer
  Si (a < _Columnas) entonces
    L°nea_XYZ <- Archivo_TXT[k]
    Valores_Topo[a,b] <- L°nea_XYZ.Z;
    b <- b + 1;

    Si (a == 0 Y b == 0) entonces
      _V_Max <- Valores_Topo[a,b];
      _V_Min <- Valores_Topo[a,b];
    Fin_Si

    Si (_V_Min > Valores_Topo[a,b]) entonces
      _V_Min = Valores_Topo[a,b];
    Fin_Si

    Si (_V_Max < Valores_Topo[a,b]) entonces
      _V_Max <- Valores_Topo[a,b];
    Fin_Si
  Fin_Si
Fin_Mientras

```



```

        Si ( b == _Filas ) entonces
            a <- a + 1;
            b <- 0;
        Fin_Si
    Fin_Si

    k <- k + 1;
Fin_Mientras

Valores <- Valores_Topo;
Pixel_Alto <- _Pixel_Alto;
Pixel_Ancho <- _Pixel_Ancho;
Filas <- _Filas;
Columnas <- _Columnas;
X <- _X;
Y <- _Y;
V_Max <- _V_Max;
V_Min <- _V_Min;
V_Nulo <- _V_Nulo;

Fin_Subalgoritmo

Subalgoritmo Resultado <- Pixel_a_UTM(Punto)
Definir X_TMP, Y_TMP como Real;

X_TMP <- Punto.x * Pixel_Ancho + X;
Y_TMP <- Y - Punto.y * Pixel_Alto;

Resultado <- Punto(X_TMP, Y_TMP);
Fin_Subalgoritmo

Subalgoritmo Resultado <- UTM_a_Pixel(Punto)
Definir X_TMP, Y_TMP como Real;
Definir X_TMP_2, Y_TMP_2 como Entero;

X_TMP <- (Punto.x - X) / Pixel_Ancho;
Y_TMP <- (Y - Punto.y) / Pixel_Alto;
X_TMP_2 <- Redondeo(X_TMP);
Y_TMP_2 <- Redondeo(Y_TMP);
Resultado <- Punto(X_TMP_2, Y_TMP_2);
Fin_Subalgoritmo

```

D. Función Bicúbica

De acuerdo al capítulo 2.3.4.10., la función Bicúbica está desarrollada de la siguiente forma:

```

Algoritmo Grilla
Definir i, j como Entero;
Dimensión Valores[i,j]; //Valores de los puntos que conforman la grilla
Definir Pix_Alto como Real; //Longitud en el eje Y del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Pix_Ancho como Real; //Longitud en el eje X del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Filas como Entero; //Número de filas de la grilla
Definir Columnas como Entero; //Número de columnas de la grilla
Definir X como Real; //Coordenada base en el eje X de la grilla
Definir Y como Real; //Coordenada base en el eje Y de la grilla
Definir V_Max como Real; //Valor máximo de la grilla
Definir V_Min como Real; //Valor mínimo de la grilla
Definir V_Nulo como Real; //Valor Nulo de la grilla
Definir P como Punto;

Pixel_a_UTM(P);
UTM_a_Pixel(P);
Array4x4(P);

```

```

Interpolaci#n Bic#blica(P);

Fin_Algoritmo_Grilla

Subalgoritmo Resultado <- Array4x4 (P)
Definir a, b, c, d, f, q, i, j Como Entero;
Definir pixel, pt_o_topo Como Punto;
Definir pixel_utm PTO_XYZ como Punto;
Dimensi#n Arreglo_Puntos[4, 4];

pixel <- UTM_a_Pixel(P);
pt_o_topo <- Pixel_a_UTM(pixel);

Si (Punto1.x < pt_o_topo.x) entonces
  a <- pixel.x - 2;
  b <- pixel.x + 1;
Si_no
  a <- pixel.x - 1;
  b <- pixel.x + 2;
Fin_Si

Si (Punto1.y < pt_o_topo.y) entonces
  c <- pixel.y - 2;
  d <- pixel.y + 1;
Si_no
  c <- pixel.y - 1;
  d <- pixel.y + 2;
Fin_Si

f <- 0;
Para i <- a hasta b hacer
  q <- 0;
  Para j <- c Hasta d Hacer
    pixel_utm <- Punto(i, j);
    PTO_XYZ <- Pixel_a_UTM(pixel_utm);
    PTO_XYZ.z <- Valores[i, j];
    Arreglo_Puntos[f, q] <- PTO_XYZ;
    q <- q + 1;
  Fin_Para
  f <- f + 1;
Fin_Para

Resultado <- Arreglo_Puntos[4, 4];
Fin_Subalgoritmo

Subalgoritmo Resultado <- Interpolaci#n Bic#blica (P)
Definir Pix, P0, P1, P2, P3 como Punto;
Definir A, B como Real;
Dimensi#n ARRAY_ZX[4];
Dimensi#n array_utm[4, 4];

Pix <- UTM_a_Pixel(Punto1);

Si (1 < Pix.x Y Pix.x < Filas - 2 Y 1 < Pix.y Y Pix.y < Columnas - 2) entonces
  array_utm <- Array4x4 (Punto);
  Para j <- 0 hasta 3 hacer
    P0 <- array_utm[0, j];
    P1 <- array_utm[1, j];
    P2 <- array_utm[2, j];
    P3 <- array_utm[3, j];
    A <- (P.x - P1.x)*(P.x - P2.x)*(P3.z*(P.x - P0.x) - P0.z*(P.x - P3.x))/3;
    B <- (P.x - P0.x)*(P.x - P3.x)*(P1.z*(P.x - P2.x) - P2.z*(P.x - P1.x));
    ARRAY_ZX[j] <- ((A + B)/(2 * potenci a(Pix_Ancho, 3)));
  Fin_Para

  P0 <- array_utm[0, 0];
  P1 <- array_utm[0, 1];
  P2 <- array_utm[0, 2];
  P3 <- array_utm[0, 3];
  A <- (P.y - P1.y)*(P.y - P2.y)*(ARRAY_ZX[0]*(P.y - P3.y) - ARRAY_ZX[3]*(P.y - P0.y))/3;
  B <- (P.y - P0.y)*(P.y - P3.y)*(ARRAY_ZX[2]*(P.y - P1.y) - ARRAY_ZX[1]*(P.y - P2.y));
  Resultado <- (A + B)/(2 * potenci a(Pix_Alto, 3));

Fin_Subalgoritmo

```

E. Función Regrilla

De acuerdo al capítulo 2.3.4.11. (Aplicación de la interpolación de datos - Regrillado de una grilla), el algoritmo de la regrilla sería:

```

Algoritmo Grilla
Definir i, j como Entero;
Dimensión Valores[i,j]; //Valores de los puntos que conforman la grilla
Definir Pix_Alto como Real; //longitud en el eje Y del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Pix_Ancho como Real; //longitud en el eje X del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Filas como Entero; //Número de filas de la grilla
Definir Columnas como Entero; //Número de columnas de la grilla
Definir X como Real; //Coordenada base en el eje X de la grilla
Definir Y como Real; //Coordenada base en el eje Y de la grilla
Definir V_Max como Real; //Valor máximo de la grilla
Definir V_Min como Real; //Valor mínimo de la grilla
Definir V_Nulo como Real; //Valor Nulo de la grilla
Definir Resolución como Real;

Interpolación_Bicúbica(Punto);
Regrilla (resolución);
Fin_Algoritmo_Grilla

Subalgoritmo Resultado <- Regrilla (resolución)
Definir X_TMP, Y_TMP, X_INI, Y_INI, X_FIN, Y_FIN como Real;
Definir a, b como Entero;
Definir PTO_TMP_X, PTO_TMP_Y, X_MAX, Z como Real;
Definir _V_Max, _V_Min como Real;
Definir q, k como Entero;

X_INI <- X;
Y_INI <- Y;
X_FIN <- X + Pix_Ancho * (Columnas - 1);
Y_FIN <- Y - Pix_Alto * (Filas - 1);
X_TMP <- ((X_FIN - X_INI) / resolución);
Y_TMP <- ((Y_INI - Y_FIN) / resolución);
a <- redondear(X_TMP);
b <- redondear(Y_TMP);

Dimensión Regrilla_Valores[a, b];

PTO_TMP_Y <- Y_INI;
q <- -1;
X_MAX <- 0;
_V_Max <- V_Nulo;
_V_Min <- V_Nulo;

Para j <- 0 hasta b hacer
    PTO_TMP_X <- X_INI;
    Para i <- 0 hasta a hacer
        Definir PTO_TMP como Punto;
        PTO_TMP <- Punto(PTO_TMP_X, PTO_TMP_Y);
        Z <- Interpolación_Bicúbica(PTO_TMP);
        Regrilla_Valores[i,j] <- Z;

        Si (Z <> V_Nulo) entonces
            Si (_V_Max == V_Nulo Y _V_Min == V_Nulo) entonces
                _V_Max <- Z;
                _V_Min <- Z;
            Fin_Si

            Si (Z < _V_Min) entonces
                _V_Min <- Z;
            Fin_Si

            Si (Z > _V_Max) entonces
                _V_Max <- Z;
    
```

```

        Fin_Si
    Fin_Si

    PTO_TMP_X <- PTO_TMP_X + resolu ci An;
    Fin_Para

    PTO_TMP_Y <- PTO_TMP_Y - resolu ci An;
    Fin_Para

    Definir resultado como Grilla;

    Resultado(resolu ci An, resolu ci An, a, b, X, Y);
    Resultado.Valores <- Regrilla_Valores[a, b];
    Resultado.V_Max <- _V_Max;
    Resultado.V_Min <- _V_Min;
    Resultado.V_Nulo <- V_Nulo;

    Fin_Subalgoritmo

```

F. Pendiente

Como se ha explicado en el capítulo 2.3.4.12, el algoritmo de la pendiente queda desarrollado de la siguiente manera:

```

Algoritmo Grilla
Definir i, j como Entero;
Dimensi on Valores[i,j]; //Valores de los puntos que conforman la grilla
Definir Pix_Alto como Real; //longitud en el eje Y del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Pix_Ancho como Real; //longitud en el eje X del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Filas como Entero; //Numero de filas de la grilla
Definir Columnas como Entero; //Numero de columnas de la grilla
Definir X como Real; //Coordenada base en el eje X de la grilla
Definir Y como Real; //Coordenada base en el eje Y de la grilla
Definir V_Max como Real; //Valor máximo de la grilla
Definir V_Min como Real; //Valor mínimo de la grilla
Definir V_Nulo como Real; //Valor Nulo de la grilla
Pendiente;
Fin_Algoritmo

Subalgoritmo Resultado <- Pendiente
Dimensi on valores_pendiente[i,j];
Definir a, b, c, d, e, f, g, h, k como Real;
Definir dz_dx, dz_dy, PEN_TMP como Real;
Definir _V_Max como Real;
Definir _V_Min como Real;

_V_Max <- Valor_Nulo;
_V_Min <- Valor_Nulo;

Para i<-0 hasta Filas - 1 hacer
    Para j<-0 hasta Columnas - 1 hacer
        Si (Valores[i,j] <> V_Nulo) entonces
            a <- Valores[i - 1,j - 1];
            b <- Valores[i,j - 1];
            c <- Valores[i + 1,j - 1];
            d <- Valores[i - 1,j];
            e <- Valores[i,j];
            f <- Valores[i + 1,j];
            g <- Valores[i - 1,j + 1];
            h <- Valores[i,j + 1];
            k <- Valores[i + 1,j + 1];
            dz_dx <- ((c + 2*f + k) - (a + 2*d + g)) / (8 * Pix_Ancho);
            dz_dy <- ((g + 2*h + k) - (a + 2*b + c)) / (8 * Pix_Alto);

            PEN_TMP <- ra z_cuadrada(dz_dx * dz_dx + dz_dy * dz_dy);

```

```

    valores_pendiente[i,j] <- 57.2958 * (atan(PEN_TMP));

    Si (_V_Max <> V_Nulo o Y _V_Min <> V_Nulo) entonces
        _V_Max <- valores_pendiente[i,j];
        _V_Min <- valores_pendiente[i,j];
    Fin_Si

    Si (valores_pendiente[i,j] < _V_Min) entonces
        _V_Min <- valores_pendiente[i,j];
    Fin_Si

    Si (valores_pendiente[i,j] > _V_Max) entonces
        _V_Max <- valores_pendiente[i,j];
    Fin_Si

    Si_no
        valores_pendiente[i,j] <- V_Nulo;
    Fin_Si
Fin_Para
Fin_Para

Definir resultado como Grilla;

Resultado(Pix_Alto, Pix_Ancho, Filas, Columnas, X, Y);
Resultado.Valores <- valores_pendiente[Filas, Columnas];
Resultado.V_Max <- _V_Max;
Resultado.V_Min <- _V_Min;
Resultado.V_Nulo <- V_Nulo;

Fin_Subalgoritmo

```

G. Orientación

Como se ha explicado en el capítulo 2.3.4.12, el algoritmo de la orientación queda desarrollado de la siguiente manera:

```

Algoritmo Grilla
Definir i, j como Entero;
Dimensión Valores[i,j]; //Valores de los puntos que conforman la grilla
Definir Pix_Alto como Real; //Longitud en el eje Y del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Pix_Ancho como Real; //Longitud en el eje X del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Filas como Entero; //Número de filas de la grilla
Definir Columnas como Entero; //Número de columnas de la grilla
Definir X como Real; //Coordenada base en el eje X de la grilla
Definir Y como Real; //Coordenada base en el eje Y de la grilla
Definir V_Max como Real; //Valor máximo de la grilla
Definir V_Min como Real; //Valor mínimo de la grilla
Definir V_Nulo como Real; //Valor Nulo de la grilla
Orientación;
Fin_Algoritmo Grilla

Subalgoritmo Resultado <- Orientación
Dimensión valores_orientación[i,j];
Definir a, b, c, d, e, f, g, h, k como Real;
Definir dz_dx, dz_dy, orient_tmp, orient_valor como Real;
Definir _V_Max como Real;
Definir _V_Min como Real;

_V_Max <- V_Nulo;
_V_Min <- V_Nulo;

```

```

Para i<-0 hasta Grilla_número_Filas - 1 hacer
  Para j<-0 hasta Grilla_número_Colunas - 1 hacer
    Si (valores[i,j] <> Valor_Nulo) entonces
      a <- Valores[i - 1,j - 1];
      b <- Valores[i,j - 1];
      c <- Valores[i + 1,j - 1];
      d <- Valores[i - 1,j];
      e <- Valores[i,j];
      f <- Valores[i + 1,j];
      g <- Valores[i - 1,j + 1];
      h <- Valores[i,j + 1];
      k <- Valores[i + 1,j + 1];
      dz_dx <- ((c + 2*f + k) - (a + 2*d + g)) / 8;
      dz_dy <- ((g + 2*h + k) - (a + 2*b + c)) / 8;
      orient_tmp <- 57.2958 * (atan2(dz_dy, -dz_dx));

      Segùn orient_tmp Hacer
        orient_tmp < 0:
          orient_valor <- 90 - orient_tmp;

        orient_tmp > 90:
          orient_valor <- 360 - orient_tmp + 90;

      De Otro Modo:
        orient_valor <- 90 - orient_tmp;
      Fin_Segùn

      valores_orientación[i,j] <- orient_valor;

      Si (_V_Max <> Valor_Nulo Y _V_Min <> Valor_Nulo) entonces
        _V_Max <- valores_orientación[i,j];
        _V_Min <- valores_orientación[i,j];
      Fin_Si

      Si (valores_orientación[i,j] < _V_Min) entonces
        _V_Min <- valores_orientación[i,j];
      Fin_Si

      Si (valores_orientación[i,j] > _V_Max) entonces
        _V_Max <- valores_orientación[i,j];
      Fin_Si

      Si no
        valores_orientación[i,j] <- Valor_Nulo;
      Fin_Si
    Fin_Para
  Fin_Para

Definir resultado como Grilla;

Resultado(Pix_Alto, Pix_Ancho, Filas, Columnas, X, Y_);
Resultado.Valores <- valores_orientación[Filas, Columnas];
Resultado.V_Max <- _V_Max;
Resultado.V_Min <- _V_Min;
Resultado.V_Nulo <- Valor_Nulo;
Fin_Subalgoritmo

```

H. Curvatura

Como se ha explicado en el capítulo 2.3.4.12, el algoritmo de la curvatura queda desarrollado de la siguiente manera:

```

Algoritmo Grilla
Definir i, j como Entero;
Dimensión Valores[i,j]; //Valores de los puntos que conforman la grilla

```

```

Definir Pix_Alto como Real; //Longitud en el eje Y del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Pix_Ancho como Real; //Longitud en el eje X del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Filas como Entero; //Numero de filas de la grilla
Definir Columnas como Entero; //Numero de columnas de la grilla
Definir X como Real; //Coordenada base en el eje X de la grilla
Definir Y como Real; //Coordenada base en el eje Y de la grilla
Definir V_Max como Real; //Valor máximo de la grilla
Definir V_Min como Real; //Valor mínimo de la grilla
Definir V_Nulo como Real; //Valor Nulo de la grilla
Curvatura;
Fin_Algoritmo Grilla

Subalgoritmo Resultado <- Curvatura
Dimensi3n valores_curvatura[i,j];
Definir Z2, Z4, Z5, Z6, Z8 como Real;
Definir D, E como Real;
Definir _V_Max como Real;
Definir _V_Min como Real;

_V_Max <- V_Nulo;
_V_Min <- V_Nulo;

Para i<-3 hasta Filas - 3 hacer
  Para j<-3 hasta Columnas - 3 hacer
    Si (Valores[i,j] <> V_Nulo) entonces

      Z2 <- Valores[i,j - 1];
      Z4 <- Valores[i - 1,j];
      Z5 <- Valores[i,j];
      Z6 <- Valores[i + 1,j];
      Z8 <- Valores[i,j + 1];
      D <- ((Z4 + Z6) / 2 - Z5) / (Pix_Ancho * Pix_Ancho);
      E <- ((Z2 + Z8) / 2 - Z5) / (Pix_Alto * Pix_Alto);

      valores_curvatura[i,j] <- -2 * (D + E) * 100;

      Si (_V_Max <> V_Nulo Y _V_Min <> V_Nulo) entonces
        _V_Max <- valores_curvatura[i,j];
        _V_Min <- valores_curvatura[i,j];
      Fin_Si

      Si (valores_curvatura[i,j] < _V_Min) entonces
        _V_Min <- valores_curvatura[i,j];
      Fin_Si

      Si (valores_curvatura[i,j] > _V_Max) entonces
        _V_Max <- valores_curvatura[i,j];
      Fin_Si

    Si no
      valores_curvatura[i,j] <- V_Nulo;
    Fin_Si
  Fin_Para
Fin_Para

Definir Resultado como Grilla;

Resultado(Pix_Alto, Pix_Ancho, Filas, Columnas, X, Y);
Resultado.Valores <- valores_curvatura[Filas, Columnas];
Resultado.V_Max <- _V_Max;
Resultado.V_Min <- _V_Min;
Resultado.V_Nulo <- V_Nulo;
Fin_Subalgoritmo

```

I. Rugosidad

Como se ha explicado en el [apítulo 2.3.4.12](#), el algoritmo de la rugosidad queda desarrollado de la siguiente manera:

```

Algoritmo Grilla
Definir i, j como Entero;
Dimensi3n Valores[i,j]; //Valores de los puntos que conforman la grilla
Definir Pix_Alto como Real; //longitud en el eje Y del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Pix_Ancho como Real; //longitud en el eje X del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Filas como Entero; //Numero de filas de la grilla
Definir Columnas como Entero; //Numero de columnas de la grilla
Definir X Como Real; //Coordenada base en el eje X de la grilla
Definir Y Como Real; //Coordenada base en el eje Y de la grilla
Definir V_Max Como Real; //Valor máximo de la grilla
Definir V_Min Como Real; //Valor mínimo de la grilla
Definir V_Nulo Como Real; //Valor Nulo de la grilla
Rugosidad;
Fin_Algoritmo Grilla

Subalgoritmo Resultado <- Rugosidad
Dimensi3n valores_rugosidad[i,j];
Definir Grilla_Pendiente como Grilla;
Definir Grilla_Orientaci3n como Grilla;
Definir _X, _Y, _Z como Real;
Definir VALOR_PENDIENTE, VALOR_ORIENTACION como Real;
Definir _V_Max, _V_Min como Real;
Definir _X, _Y, _Z como Real;
Definir m, n como Entero;

_V_Max <- V_Nulo;
_V_Min <- V_Nulo;

Para i<-3 hasta Filas - 3 hacer
  Para j<-3 hasta Columnas - 3 hacer
    Si (valores[i,j] <> V_Nulo) entonces

      _X <- 0;
      _Y <- 0;
      _Z <- 0;

      Para m<- i - 1 Hasta i + 1 Hacer
        Para n <- j - 1 Hasta j + 1 Hacer
          VALOR_PENDIENTE <- 0.0174533 * Grilla_Pendiente.valores[m,n];
          VALOR_ORIENTACION <- 0.0174533 * Grilla_Orientaci3n.valores[m,n];
          _X <- _X + seno(VALOR_PENDIENTE) * coseno(VALOR_ORIENTACION);
          _Y <- _Y + seno(VALOR_PENDIENTE) * seno(VALOR_ORIENTACION);
          _Z <- _Z + coseno(VALOR_PENDIENTE);

        Fin_Para
      Fin_Para

      valores_rugosidad[i,j] <- 1 - ra0z_cuadrada(_X * _X + _Y * _Y + _Z * _Z)/9;

      Si (_V_Max <> V_Nulo Y _V_Min <> V_Nulo) entonces
        _V_Max <- valores_rugosidad[i,j];
        _V_Min <- valores_rugosidad[i,j];
      Fin_Si

      Si (valores_rugosidad[i,j] < _V_Min) entonces
        _V_Min <- valores_rugosidad[i,j];
      Fin_Si

      Si (valores_rugosidad[i,j] > _V_Max) entonces
        _V_Max <- valores_rugosidad[i,j];
      Fin_Si

    Si_no
      valores_rugosidad[i,j] <- V_Nulo;
    Fin_Si
  Fin_Para
Fin_Para

Definir Resultado como Grilla;

Resultado(Pix_Alto, Pix_Ancho, Filas, Columnas, X, Y);
Resultado.Valores <- valores_rugosidad[Filas, Columnas];
Resultado.V_Max <- _V_Max;
Resultado.V_Min <- _V_Min;
Resultado.Val_Nulo <- V_Nulo;
Fin_Subalgoritmo

```


El resultado del algoritmo es un MDT-grilla con la misma separación de puntos y es guardado como un raster Ascii Esri. También los valores de rugosidad están en unidades adimensionales numéricas donde los valores mayores representan una alta rugosidad y los valores menores representan una baja rugosidad de la superficie.

J. Algoritmo para la representación de la cuenca visual

De acuerdo al acápite 2.3.4.13. (Descripción del Modelo Matemático para la caracterización de la Cuenca Visual), la línea visual entre dos puntos tiene como algoritmo:

```

Algoritmo Grilla
Definir i, j como Entero;
Dimensión Valores[i,j]; //Valores de los puntos que conforman la grilla
Definir Pix_Alto como Real; //longitud en el eje Y del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Pix_Ancho como Real; //longitud en el eje X del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Filas como Entero; //Número de filas de la grilla
Definir Columnas como Entero; //Número de columnas de la grilla
Definir X Como Real; //Coordenada base en el eje X de la grilla
Definir Y Como Real; //Coordenada base en el eje Y de la grilla
Definir V_Max Como Real; //Valor máximo de la grilla
Definir V_Min Como Real; //Valor mínimo de la grilla
Definir V_Nulo Como Real; //Valor Nulo de la grilla
Definir Punto1, Punto2, Punto3 como Punto
Definir resolución como Real;

Azimuth (Punto1, Punto2);
Interpolación_Bicúbica (Punto3);
Línea_Visual (Punto1, Punto2, resolución);
Fin_algoritmo Grilla

Subalgoritmo Resultado <- Azimuth(Punto1, Punto2)
Definir PI, x_dif, y_dif, ángulo como Real;

PI <- 3.14159265358979323846;
x_dif <- Punto2.x - Punto1.x;
y_dif <- Punto2.y - Punto1.y;

Si (x_dif == 0 Y 0 < y_dif) entonces
    ángulo <- 0;
Si_no_si (x_dif == 0 Y 0 > y_dif) entonces
    ángulo <- 180;
Si_no_si (x_dif > 0 Y 0 == y_dif) entonces
    ángulo <- 90;
Si_no_si (x_dif < 0 Y 0 == y_dif) entonces
    ángulo <- 270;
Si_no_si (x_dif > 0 Y 0 < y_dif) entonces
    ángulo <- arco_tangente(x_dif / y_dif);
    ángulo <- 360.0 * ángulo / 2.0 / PI;
Si_no_si (x_dif > 0 Y 0 > y_dif) entonces
    ángulo <- arco_tangente (x_dif / y_dif);
    ángulo <- 180 + 360.0 * ángulo / 2.0 / PI;
Si_no_si (x_dif < 0 Y 0 > y_dif) entonces
    ángulo <- arco_tangente (x_dif / y_dif);
    ángulo <- 180 + 360.0 * ángulo / 2.0 / PI;
Si_no_si (x_dif < 0 Y 0 < y_dif) entonces
    ángulo <- arco_tangente (x_dif / y_dif);

```

```

    @ngulo <- 360 + 360.0 * @ngulo / 2.0 / PI;
Fin_Si

Resultado <- @ngulo;
Fin_Subalgoritmo

Subalgoritmo Resultado <- L°nea_Visual(Punto1, Punto2, resoluci¶n)
Definir LONG, PTO1_Z, PTO2_Z como Real;
Definir azimuth, azimuth_rad, dist_tmp como Real;
Definir X_TMP, Y_TMP, TAN_TMP, TAN_INI como Real;
Definir VISIBLE como L¶gico;

LONG <- potencia((Punto1.x - Punto2.x), 2) + potencia((Punto1.y - Punto2.y), 2);
LONG <- ra²z_cuadrada(LONG);
PTO2_Z <- Interpolaci¶n_Bic¶blica(Punto2);
PTO1_Z <- Interpolaci¶n_Bic¶blica(Punto1);
TAN_INI <- (PTO2_Z - PTO1_Z) / LONG;

azimuth <- Azimuth(Punto1, Punto2);
azimuth_rad <- 0174533 * azimuth;
dist_tmp <- resoluci¶n;
VISIBLE <- verdadero;

Mientras (dist_tmp < LONG)
    Definir POINT_TMP como Punto;

    X_TMP <- Punto1.x + seno(azimuth_rad) * dist_tmp;
    Y_TMP <- Punto1.y + coseno(azimuth_rad) * dist_tmp;
    POINT_TMP <- Punto(X_TMP, Y_TMP);
    Z <- Interpolaci¶n_Bic¶blica(POINT_TMP);
    TAN_TMP <- (Z - PTO1_Z) / dist_tmp;

    Si TAN_INI < TAN_TMP entonces
        VISIBLE <- falso;
        Salir;
    Si_no
        VISIBLE <- verdadero;
    Fin_Si

    dist_tmp <- dist_tmp + resoluci¶n;
Fin_Mientras

Resultado <- VISIBLE;
Fin_Subalgoritmo

```

El algoritmo de la L°nea_Visual es una funci¶n para el c¶culo de la cuenca visual. Luego el algoritmo de la cuenca visual desarrollado seria:

```

Algoritmo Grilla
Definir i, j como Entero;
Dimensi¶n Valores[i,j]; //Valores de los puntos que conforman la grilla
Definir Pix_Alto como Real; //Longitud en el eje Y del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Pix_Ancho como Real; //Longitud en el eje X del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Filas como Entero; //Numero de filas de la grilla
Definir Columnas como Entero; //Numero de columnas de la grilla
Definir X como Real; //Coordenada base en el eje X de la grilla
Definir Y como Real; //Coordenada base en el eje Y de la grilla
Definir V_Max como Real; //Valor m¶ximo de la grilla
Definir V_Mn como Real; //Valor m¶nimo de la grilla
Definir V_Nulo como Real; //Valor Nulo de la grilla
Definir Punto1, Punto2 como Punto
Definir resoluci¶n como Real;

Pixel_a_UTM(Punto1);
L°nea_Visual(Punto1, Punto2, resoluci¶n);
Cuenca_Visual(Punto1, resoluci¶n);
Fin_Algoritmo

```

```

Subalgoritmo Resultado <- Cuenca_Visual (Punto1, resoluci3n)
Dimensi3n valores_cuenca[i,j];
Definir Valor como L3gico;

Para i <- 0 Hasta Grilla_n3mero_Colunas - 1 hacer
  Para j <- 0 Hasta Grilla_n3mero_Filas - 1 hacer
    Definir PIXEL_TMP, UTM_TMP como Punto;

    PIXEL_TMP <- Punto (i, j);
    UTM_TMP <- Pixel_a_UTM (PIXEL_TMP);
    Valor <- L3nea_Visual (Punto1, UTM_TMP, resoluci3n);

    Si (Valor == verdadero) entonces
      valores_cuenca[i,j] <- 1;
    Si_no
      valores_cuenca[i,j] <- 0;
    Fin_Si
  Fin_Para
Fin_Para

Definir Resultado como Grilla;

Resultado (Pix_Alto, Pix_Ancho, Filas, Colunas, X, Y);
Resultado.Valores <- valores_cuenca[Filas, Colunas];
Resultado.V_M3ximo <- 1;
Resultado.V_M3nimo <- 0;
Resultado.V_Nulo <- V_Nulo;

Fin_Subalgoritmo

```

K. Algoritmo para la estimaci3n del thalweg de una c3rcava o quebrada (flujo de agua o aluvional)

De acuerdo al ac3pite 2.3.4.14 (Descripci3n del Modelo Matem3tico para la estimaci3n del Thalweg de una c3rcava o quebrada), el algoritmo del flujo de agua queda definido de la siguiente manera:

```

Algoritmo Grilla
Definir i, j como Entero;
Dimensi3n Valores[i,j]; //Valores de los puntos que conforman la grilla
Definir Pix_Alto como Real; //longitud en el eje Y del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Pix_Ancho como Real; //longitud en el eje X del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Filas como Entero; //Numero de filas de la grilla
Definir Colunas como Entero; //Numero de columnas de la grilla
Definir X Como Real; //Coordenada base en el eje X de la grilla
Definir Y Como Real; //Coordenada base en el eje Y de la grilla
Definir V_Max Como Real; //Valor m3ximo de la grilla
Definir V_M3n Como Real; //Valor m3nimo de la grilla
Definir V_Nulo Como Real; //Valor Nulo de la grilla
Definir Punto1 como Punto;
Interpolaci3n_Bic3bica (Punto1);
UTM_a_Pixel (Punto1);
Pixel_a_UTM (Punto1);
Flujo_Agua (Punto1);
Fin_Algoritmo_Grilla

Subalgoritmo Resultado <- Flujo_Agua (Punto1)
Definir Pix como Punto;
Definir ESTADO como L3gico;
Definir a, b, c, d, e, f, g, h, k como Real;
Definir PEND_M3N como Real;
Definir XM3N, YM3N como Entero;
Definir Flujo como Polil3nea;

```

```

Definir Flujo_Parte como Parte_Polilínea;
Definir p, q como Entero;

Pix <- UTM_to_PIXEL(Punto1);
ESTADO <- verdadero;
Punto1.z <- Interpolación_Bicúbica(Punto1);
Flujo_Parte.Insertar_punto(Punto1);

Mientras (ESTADO == verdadero)
  Si ((1 < Pix.x Y Pix.x < Columnas - 1) Y (1 < Pix.y Y Pix.y < Filas - 1)) entonces
    p <- Pix.x;
    q <- Pix.y;

    a <- Valores[p - 1, q - 1];
    b <- Valores[p, q - 1];
    c <- Valores[p + 1, q - 1];
    d <- Valores[p - q, j];
    e <- Valores[p, q];
    f <- Valores[p + 1, q];
    g <- Valores[p - 1, q + 1];
    h <- Valores[p, q + 1];
    k <- Valores[p + 1, q + 1];

    Si (a == V_Nulo O b == V_Nulo O c == V_Nulo O d == V_Nulo O e == V_Nulo O f ==
V_Nulo O g == V_Nulo O h == V_Nulo O k == V_Nulo) entonces
      ESTADO <- falso;
      Salir;
    Si_no
      Dimensiñ PEND[3, 3];

      PEND[0, 0] <- (a - e)/(raíz_cuadrada(2) * Pix_Ancho);
      PEND[1, 0] <- (b - e)/(Pix_Ancho);
      PEND[2, 0] <- (c - e)/(raíz_cuadrada(2) * Pix_Ancho);
      PEND[0, 1] <- (d - e)/(Pix_Ancho);
      PEND[1, 1] <- 0;
      PEND[2, 1] <- (f - e)/(Pix_Ancho);
      PEND[0, 2] <- (g - e)/(raíz_cuadrada(2) * Pix_Ancho);
      PEND[1, 2] <- (h - e)/(Pix_Ancho);
      PEND[2, 2] <- (k - e)/(raíz_cuadrada(2) * Pix_Ancho);
      PEND_MN <- PEND[0, 0];

      Para m <- 0 hasta 2 hacer
        Para n <- 0 hasta 2 hacer
          Si (PEND[0, 0] <= PEND_MN) entonces
            PEND_MN <- PEND[m n];
            XMN <- m - 1;
            YMN <- n - 1;
          Fin_Si
        Fin_Para
      Fin_Para

      Si (XMN == 0 Y YMN == 0) entonces
        ESTADO <- falso;
        Fin_Si

      Pix.x <- Pix.x + XMN;
      Pix.y <- Pix.y + YMN;

      Definir PTO_UTM como Punto;
      PTO_UTM <- Pixel_a_UTM(Pix);
      PTO_UTM.z <- Valores[Pix.x, Pix.y];
      Flujo_Parte.Insertar_Punto(PTO_UTM);
    Fin_Si
  Fin_Mientras

Flujo.Insertar_Parte(Flujo_Parte);
Resultado <- Flujo;

Fin_Subalgoritmo

```

L. Algoritmo para la caracterización de la dificultad de una vª

De acuerdo al algoritmo 2.3.4.15., el algoritmo para la caracterización de una vª es:

```

Algoritmo Dificultad_Vªs
Definir _Pix_Alto como Real; // distancia vertical del pixel leºda
Definir _Pix_Ancho como Real; // distancia horizontal del pixel leºda
Definir _Filas como Entero; // número de filas leºdas
Definir _Columnas como Entero; // número de columnas leºdas
Definir _X Como Real;
Definir _Y Como Real;
Definir _V_Nulo Como Real;
Definir Punto1, Punto2 como Punto;
Definir resoluciªn como Real;
Definir i, j, p, q como Entero;
Definir Nªmero_Vªs como Entero; // Número de vªs leºdos
Definir Nªmero_Atributos como Entero // número de atributos por vª
Definir Dificultad_Absoluta como Real;
Definir Grilla10m como Grilla;

Dimensiªn VPAS [Nªmero_Vªs, Nªmero_Atributos];
//Atributo 0 = Polilªnea que representa a la vª
//Atributo 1 = Ancho de vª
//Atributo 2 = Tipo de vª
//luego, Nªmero_Atributos es igual a 3 (Nªmero_Atributos = 3)

Dimensiªn VIAS_DIFICULTAD [p, q];
//Atributo 0 = Tramo de la Polilªnea que representa a la vª
//Atributo 1 = Ancho de vª
//Atributo 2 = Tipo de vª
//Atributo 3 = Longitud de la vª
//Atributo 4 = Pendiente longitudinal
//Atributo 5 = Dificultad absoluta del tramo de vª
//Atributo 6 = Dificultad relativa del tramo de vª
//luego, Nªmero_Atributos es igual a 7 (q = 7)

Secciªn (Punto1, Punto2, resoluciªn);
Grilla10m(_Pix_Alto, _Pix_Ancho, _Filas, _Columnas, _X, _Y, _V_Nulo);

p <- 0;
Dificultad_Absoluta <- 0;

Para i <- 0 hasta Nªmero_Vªs hacer
    Definir Vª como Polilªnea;
    Definir Vª_Parte como Parte_Polilªnea;
    Definir Ancho como Real;
    Definir Tipo como Entero;
    Definir PEND_L como Real;

    Vª <- VPAS[i, 0];
    Vª_Parte <- Vª.Leer_parte(0); // cada polilªnea tiene una sola parte
    Ancho <- VPAS[i, 1];
    Tipo <- VPAS[i, 2];

    Para j <- 1 hasta Via_Parte.Nªmero_puntos() - 1 hacer
        Definir P1, P2 como Punto;
        Definir T0, T1 como Punto;
        Definir LONG como Real;

        P1 <- PARTE.Leer_punto(j - 1);
        P2 <- PARTE.Leer_punto(j);
        P1.z <- Grilla10m.Interpolaciªn_Bicªsica(P1);
        P2.z <- Grilla10m.Interpolaciªn_Bicªsica(P2);
        LONG <- raªz_cuadrada(potencia((P1.x - P2.x), 2) + potencia((P1.y - P2.y), 2));

        Si (LONG <> 0) Entonces
            Definir TRAMO como Polilªnea;

```

```

Definir PARTE_TRAMO como Parte_Polilínea;
Definir A, B como Real;

PARTE_TRAMO.Insertar_punto(P1);
PARTE_TRAMO.Insertar_punto(P2);
TRAMO.Insertar_parte(PARTE_TRAMO);
PEND_L <- Atan(valor_absoluto((P2.z - P1.z) / LONG));

VPAS_DIFICULTAD[p, 0] <- TRAMO;
VPAS_DIFICULTAD[p, 1] <- Ancho;
VPAS_DIFICULTAD[p, 2] <- Tipo;
VPAS_DIFICULTAD[p, 3] <- LONG;
VPAS_DIFICULTAD[p, 4] <- PEND_L;
VPAS_DIFICULTAD[p, 5] <- PEND_L / (Tipo * Ancho);
Dificultad_Absoluta <- Dificultad_Absoluta + PEND_L / (Tipo * Ancho);
p <- p + 1;
Fin_Si
Fin_Para
Fin_Para

Para i <- 0 Hasta p - 1 Hacer
VPAS_DIFICULTAD[i, 6] <- VIAS_DIFICULTAD[i, 5] * 100 / Dificultad_Absoluta;
Fin_Para
Fin_Algoritmo Dificultad_V°as

```

M. Algoritmo para la evaluación de valores en una grilla

Evalúa los puntos de una grilla si cumplen una de las siguientes condiciones:

- ¿ Igual, si el valor de cada punto de la grilla es igual (=) a un valor dado.
- ¿ Diferente, si el valor de cada punto de la grilla es diferente (<>) a un valor dado.
- ¿ Menor, si el valor de cada punto de la grilla es menor (<) a un valor dado.
- ¿ Mayor, si el valor de cada punto de la grilla es mayor (>) a un valor dado.
- ¿ Menor o igual, si el valor de cada punto de la grilla es menor o igual (≤) a un valor dado.
- ¿ Mayor o igual, si el valor de cada punto de la grilla es mayor o igual (≥) a un valor dado.

Luego el algoritmo queda diseñado de la siguiente manera:

```

Algoritmo Grilla
Definir i, j como Entero;
Dimensión Valores[i, j]; //Valores de los puntos que conforman la grilla

```

```

Definir Pix_Alto como Real; //Longitud en el eje Y del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Pix_Ancho como Real; //Longitud en el eje X del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Filas como Entero; //Numero de filas de la grilla
Definir Columnas como Entero; //Numero de columnas de la grilla
Definir X como Real; //Coordenada base en el eje X de la grilla
Definir Y como Real; //Coordenada base en el eje Y de la grilla
Definir V_Max como Real; //Valor máximo de la grilla
Definir V_Min como Real; //Valor mínimo de la grilla
Definir V_Nulo como Real; //Valor Nulo de la grilla
Definir Valor_Numérico como Real;
Definir Condición como Texto;

Lógica_Grilla (Valor_Numérico, Condición);
Fin_Algoritmo_Grilla

Subalgoritmo Resultado <- Lógica_Grilla(Valor_Numérico, Condición)
Dimensión Valores_Lógica[i, j];
Para i<-0 hasta Filas - 1 hacer
    Para j<-0 hasta Columnas - 1 hacer
        Si (Valores[i, j] <> V_Nulo) entonces

            Según Condición Hacer
                "=":
                    Si (Valores[i, j] == Valor_Numérico) entonces
                        Valores_Lógica[i, j] <- Valores[i, j];
                    Si_no
                        Valores_Lógica[i, j] <- Valor_Nulo;
                    Fin_Si

                "<":
                    Si (Valores[i, j] < Valor_Numérico) entonces
                        Valores_Lógica[i, j] <- Valores[i, j];
                    Si_no
                        Valores_Lógica[i, j] <- Valor_Nulo;
                    Fin_Si

                ">":
                    Si (Valores[i, j] > Valor_Numérico) entonces
                        Valores_Lógica[i, j] <- Valores[i, j];
                    Si_no
                        Valores_Lógica[i, j] <- Valor_Nulo;
                    Fin_Si

                "<=":
                    Si (Valores[i, j] <= Valor_Numérico) entonces
                        Valores_Lógica[i, j] <- Valores[i, j];
                    Si_no
                        Valores_Lógica[i, j] <- Valor_Nulo;
                    Fin_Si

                ">=":
                    Si (Valores[i, j] >= Valor_Numérico) entonces
                        Valores_Lógica[i, j] <- Valores[i, j];
                    Si_no
                        Valores_Lógica[i, j] <- Valor_Nulo;
                    Fin_Si

                "<>":
                    Si (Valores[i, j] <> Valor_Numérico) entonces
                        Valores_Lógica[i, j] <- Valores[i, j];
                    Si_no
                        Valores_Lógica[i, j] <- Valor_Nulo;
                    Fin_Si

            De Otro Mdo:
                Valores_Lógica[i, j] <- Valor_Nulo;
            Fin_Según

        Si_no
            Valores_Lógica[i, j] <- Valor_Nulo;
        Fin_Si
    Fin_Para
Fin_Para

Definir Resultado como Grilla;

Resultado(Pix_Alto, Pix_Ancho, Filas, Columnas, X, Y);

```

```

Resultado.Valores <- Valores_Logica[Filas, Columnas];
Resultado.V_Max <- 1;
Resultado.V_Min <- 0;
Resultado.V_Nulo <- V_Nulo;
Fin_Subalgoritmo

```

El resultado de este algoritmo es otra grilla cuyos valores tendrán el valor de 1 si cumplen con la condición requerida y u 0 si no la cumplen tal como se muestra en la Figura 55:

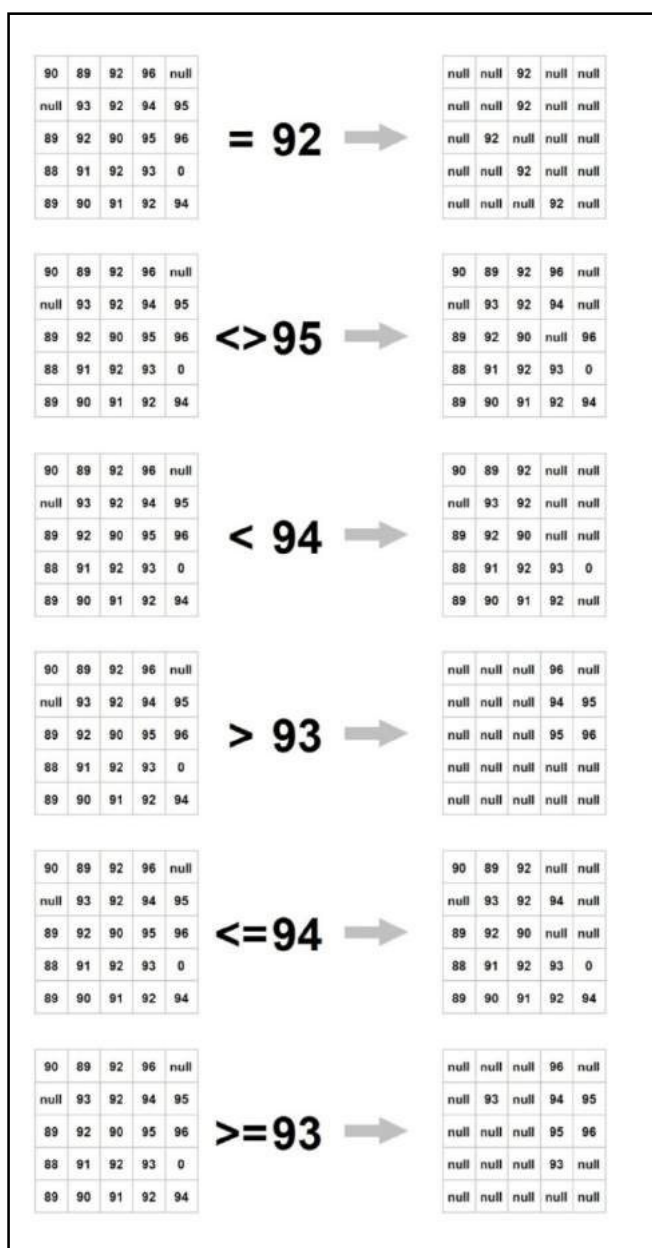


Figura 55. Ejemplo de uso de la Lógica de grilla.

Fuente. Elaboración propia.

N. Algoritmo para la selección de puntos de una grilla según si esta contenidos o no por un polígono

Para este trabajo de investigación se utilizara un algoritmo que permita seleccionar los puntos de una grilla si se encuentran fuera o dentro de un polígono (siendo un polígono como una Polilínea cerrada o que el vértice / punto de inicio sea el mismo vértice / punto final). Este algoritmo tiene como finalidad saber qué puntos de la grilla se encuentran contenidos en el área de la cuenca y el área del huayco de 1987 descrita por O'Connor en 1988 (ver anexo 2.3.4.2. Modelización de los elementos que componen una cuenca para un análisis estratégico y optimización de resultados y 2.3.5.3. Peligros encontrados en las quebradas circundantes del distrito de Lurigancho-Chosica).

El algoritmo queda definido como sigue:

```

Algoritmo Grilla
Definir PolígonoSelección como Polígono; //siendo un polígono una polilínea cerrada
Definir TipoSelección como Texto;
// TipoSelección = :ADENTRO-> selecciona los puntos dentro de PolígonoSelección
// TipoSelección = :AFUERA-> selecciona los puntos afuera de PolígonoSelección

Definir i, j, k, l como Entero;
Definir X_grilla_actual, Y_grilla_actual como Real; //marcan la posición del punto de la grilla
Definir ParteÁrea como PartePolígono; //siendo PartePolígono similar a PartePolilínea
Definir NUM como Entero;
Definir Pto1, Pto2 como Punto;
Definir YMIN, YMAX como Real;
Definir PEND, b, Y_Calc como Real;
Definir Valores[i,j]; //Valores de los puntos que conforman la grilla
Definir ValoresSelecionados[i,j]; //valores que cumplen la condición AFUERA/ ADENTRO
Definir Pix_Alto como Real; //longitud en el eje Y del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Pix_Ancho como Real; //longitud en el eje X del pixel cuyo centro es un Punto
Definir Filas como Entero; //Número de filas de la grilla
Definir Columnas como Entero; //Número de columnas de la grilla
Definir X Como Real; //Coordenada base en el eje X de la grilla
Definir Y Como Real; //Coordenada base en el eje Y de la grilla
Definir V_Max Como Real; //Valor máximo de la grilla
Definir V_Min Como Real; //Valor mínimo de la grilla
Definir V_Nulo Como Real; //Valor Nulo de la grilla

Selección;
Fin Algoritmo

Subalgoritmo Resultado <- Selección(PolígonoSelección, TipoSelección)

Para i <- 0 Hasta Grilla_número_Columnas - 1 hacer
  X_grilla_actual <- X + i * Pix_Ancho;

  Para j <- 0 Hasta Grilla_número_Filas - 1 hacer
    Y_grilla_actual <- Y - j * Pix_Alto;

    Para k <- 0 Hasta k < PolígonoSelección.número_partes() hacer
      ParteÁrea <- PolígonoSelección.Leer_parte(k);

```

```

NUM <- 0;
Para l <- 0 Hasta l < ParteErea.Número_puntos() hacer
  Pto1 <- ParteErea. Leer_punto(l);
  Pto2 <- ParteErea. Leer_punto (l + 1);

  Si (Pto1.y <= Pto2.y) entonces
    YMIN <- Pto1.y;
    YMAX <- Pto2.y;
  Si_no
    YMAX <- Pto1.y;
    YMIN <- Pto2.y;
  Fin_Si

  PEND <- (Pto2.y- Pto1.y)/( Pto2.x- Pto1.x);
  b <- (Pto1.x* Pto2.y- Pto1.y* Pto2.x)/( Pto2.x- Pto1.x);
  Y_Calc <- PEND* X_grilla_actual -b;

  Si (YMIN<= Y_ Y_Calc AND Y_ Y_Calc <= YMAX) entonces
    Si (Y_grilla_actual <= Y_Calc) entonces
      NUM <- NUM + 1;
    Fin_Si
  Fin_Si

  Si (TipoSelección == :ADENTRO) entonces
    Si (NUM == 0 or NUM % 2 == 0) entonces
      ValoresSeleccionados[i][j] <- V_Nulo;
    Si_no
      Si (V_Min == V_Nulo AND V_Max == V_Nulo) entonces
        V_Min <- Valores [i][j];
        V_Max <- Valores [i][j];
      Fin_si

      Si (Valores [i][j] < V_Min) entonces
        V_Min <- Valores [i][j];
      Fin_si

      Si (Valores [i][j] > V_Max) entonces
        V_Max <- Valores [i][j];
      Fin_si

      ValoresSeleccionados [i][j] <- Valores [i][j];
    Fin_si
  Si_no // TipoSelección == :AFUERA
    Si (NUM == 0 or NUM AND 2 == 0) entonces
      Si (V_Min == V_Nulo AND V_Max == V_Nulo) entonces
        V_Min <- Valores [i][j];
        V_Max <- Valores [i][j];
      Fin_si

      Si (Valores [i][j] < V_Min) entonces
        V_Min <- Valores [i][j];
      Fin_si

      Si (Valores [i][j] > V_Max) entonces
        V_Max <- Valores [i][j];
      Fin_si

      ValoresSeleccionados [i][j] <- Valores [i][j];
    Si_no
      ValoresSeleccionados[i][j] <- V_Nulo;
    Fin_si
  Fin_si
Fin_Para
Fin_Para
Fin_Para
Fin_Para

Definir resultado como Grilla;

Resultado(Pix_Alto, Pix_Ancho, Filas, Columnas, X, Y);
Resultado.Valores <- valores_ ValoresSeleccionados [Filas, Columnas];
Resultado.V_Max <- _V_Max;
Resultado.V_Min <- _V_Min;
Resultado.V_Nulo <- V_Nulo;
Fin_Subalgoritmo

```

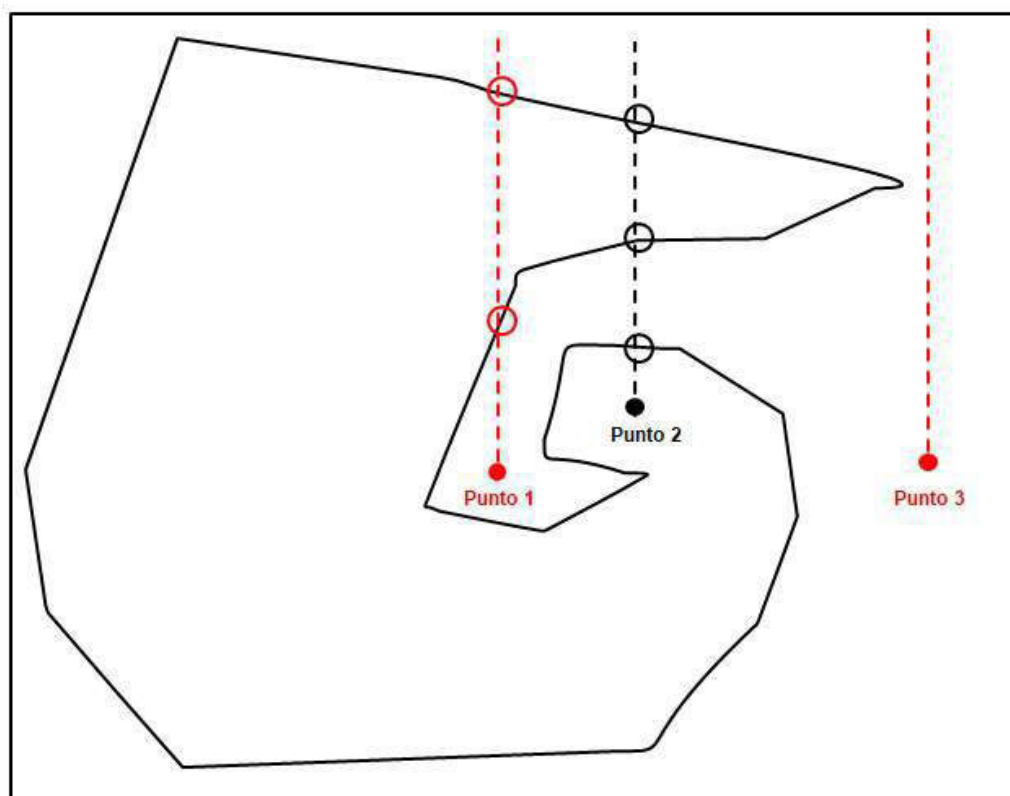


Figura 56. Explicación del criterio para determinar si un punto está adentro o fuera de un polígono.

Fuente. Elaboración propia.

O. Algoritmo para el análisis de criterios y/o parámetros para la zonificación

Para el presente trabajo de investigación se propone una zonificación con cuatro clases:

ZONA 1: Zona estimada por O'Connor (1988) del área afectada por el huayco de 1987. Esta zona es de atención aluvional ya que puede ocurrir un evento similar pero existen viviendas y/o actividades socioeconómicas.

ZONA 2: extrapolación de la altitud máxima y pendiente máxima de la ZONA 1. Esta zona es de atención aluvional - vivienda restringida.

ZONA 3: Zonas donde la orientación y la curvatura de la topografía condiciona algún paso aluvional. Esta zona es de atención aluvional - protección por ser cercana a las viviendas.

ZONA 4: Zonas donde la orientación y la curvatura de la topografía condiciona algún paso aluvional y que esté alejado de la vivienda o no es visible desde el área de vivienda. Se recomienda que esta zona sea de protección para la reforestación de especies naturales como el huancoi.

De lo anterior mencionado, la sistematización se realiza según el algoritmo propuesto:

```
Sean:
Área_cuenca: polígono que representa el área de la cuenca de la quebrada el Pedregal
Área_huayco: polígono que representa el área del huayco del 1987 (O'Connor, 1988)

//DESCRIPCION TOPOGRAFIA
grilla_altitud <- grilla_topografica.Regrilla(10)
grilla_pendiente <- grilla_altitud.Pendiente()
grilla_orientacion <- grilla_altitud.Orientación()
grilla_curvatura <- grilla_altitud.Curvatura()
grilla_rugosidad <- grilla_altitud.Rugosidad()

//DESCRIPCION TOPOGRAFIA: RECORTA AL AREA DE LA CUENCA
grilla_altitud_cuenca <- grilla_altitud.Selección(Área_cuenca, :ADENTRO)
grilla_pendiente_cuenca <- grilla_pendiente.Selección(Área_cuenca, :ADENTRO)
grilla_orientacion_cuenca <- grilla_orientacion.Selección(Área_cuenca, :ADENTRO)
grilla_curvatura_cuenca <- grilla_curvatura.Selección(Área_cuenca, :ADENTRO)
grilla_rugosidad_cuenca <- grilla_rugosidad.Selección(Área_cuenca, :ADENTRO)

//CUENCA VISUAL
punto_visual <- puntos extremos del área de las viviendas
cuenca_visual <- grilla_altitud.CuencaVisual(punto_inicial)
cuenca_visual_cuenca <- cuenca_visual.Selección(Área_cuenca, :ADENTRO)

//THALWEG - FLUJO DE AGUA
punto_inicial <- Selección según grilla_curvatura y grilla_rugosidad
thalweg_flujo_aluvional <- grilla_altitud.FlujOAgua(punto_inicial)
```

```
//CARACTERIZACION DE LA DIFICULTAD DE LAS VIAS

punto_inicial <- Selecci3n seg3n grilla_curvatura y grilla_rugosidad

Dificultad_v3as <- v3as_pedregal.pendiente / (v3as_pedregal.ancho *
v3as_pedregal.tipo)

//DETERMINACION DE LA ZONA 1: ES EL 3REA DEL HUAYCO DEL 1987 (O'Connor, 1988)

Zona1 <- area_huayco

//DETERMINACION DE LA ZONA 2: CALCULO DE LOS MAXIMOS VALORES DE LA ALTITUD Y DE LA
//PENDIENTE DETERMINADOS POR LA SELECCION DE PUNTOS DEL AREA 1

grilla_altitud_huayco <- grilla_altitud_cuenca.Selecci3n(3rea_huayco, :ADENTRO3)

grilla_altitud_viviendas <- grilla_altitud_cuenca.Selecci3n(3rea_viviendas,
:ADENTRO3)

grilla_pendiente_huayco = grilla_pendiente_cuenca.Selecci3n(3rea_huayco, :ADENTRO3)

grilla_pendiente_viviendas = grilla_pendiente_cuenca.Selecci3n(3rea_viviendas,
:ADENTRO3)

altitud_max_huayco = grilla_altitud_huayco.valor_max

pendiente_max_huayco = grilla_pendiente_huayco.valor_max

Zona2 <- grilla_altitud_cuenca.Filtro(altitud_max_huayco, <=) intersecta
grilla_pendiente_filtro.Filtro(pendiente_max_huayco, <=)

//ZONA 3 y ZONA 4

Grilla_Zona3_Zona4 <- grilla_orientaci3n_cuenca ~ Zona 2 ~ Zona 1

Zona3 <- Grilla_Zona3_Zona4 - cuenca_visual_cuenca.L3gica_Grilla(=, 1)

Zona4 <- Grilla_Zona3_Zona4 - cuenca_visual_cuenca.L3gica_Grilla(=, 0)

//OTROS PARAMETROS DE INTERES

grilla_rugosidad_cuenca <- grilla_rugosidad_cuenca.Selecci3n(3rea_cuenca, :ADENTRO3)

grilla_rugosidad_huayco <- grilla_rugosidad_cuenca.Selecci3n(3rea_huayco, :ADENTRO3)

altitud_max_viviendas <- grilla_altitud_viviendas.valor_max

pendiente_max_viviendas <- grilla_pendiente_viviendas.valor_max

rugosidad_m3nima <- grilla_rugosidad.Filtro(0.01, <=)

rugosidad_m3xima <- grilla_rugosidad.Filtro(0.01, >)

//AREA DE UNA GRILLA

Area_grilla <- N3mero_valores_no_nulos * alto_pixel * ancho_pixel

Donde

N3mero_valores_no_nulos: n3mero de puntos de la grilla cuyo valor es diferente del
valor nulo asignado

alto_pixel = medida del alto del pixel cuyo centro es un punto de la grilla
```

```

ancho_pixel = medida del ancho del pixel cuyo centro es un punto de la grilla

// ZONIFICACION

ZONIFICACION <- Zona1 + Zona2 + Zona3 + Zona4 + thalweg_flujo_aluvional +
Dificultad_vias

```

IV. Diferencias entre la interpolación bicúbica y la interpolación `topo to raster`

Para contrastar la primera hipótesis específica que menciona `La interpolación bicúbica remuestrea adecuadamente la altitud topográfica de una cuenca.`, se plantea la comparación de los resultados entre la interpolación bicúbica y por lo generado con el programa ArcGIS, específicamente en la generación de un raster usando la interpolación Topo to Raster_ perteneciente a las herramientas del módulo `Spatial Analyst`. Se escoge la interpolación Topo to Raster_ ya que es un método de interpolación específicamente diseñado para la creación de modelos digitales de terreno hidrológicamente correctos (ESRI ÷, 2016e).

Paso 1: Plantear las hipótesis nulas y las hipótesis alternativas

Para la siguiente investigación se pretende determinar si la diferencia aritmética de los resultados de la interpolación bicúbica menos la interpolación Topo to Raster_ con resolución espacial de 10 m para cada una de ellas. Luego, se formulan las hipótesis nula y alternativa:

¿ H_0 : La distribución de la diferencia aritmética de los resultados de la interpolación bicúbica menos la interpolación Topo to Raster_ se encuentra distribuido de manera constante en el área de la cuenca de la quebrada el Pedregal.

¿ H_1 : La distribución de la diferencia aritmética de los resultados de la interpolación bicúbica menos la interpolación Topo to Raster_ no se

encuentra distribuido de manera constante en el área de la cuenca de la quebrada el Pedregal.

Paso 2: Seleccionar el nivel de significación (α)

El nivel de significancia es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula siendo esta verdadera (Márques Dos Santos, 2005) y se denota por α (alfa).

No hay una forma de determinar qué nivel de significación tomar para una investigación y por lo general se toma valores para $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$ que de manera porcentual sería 5% y 1% respectivamente (Berrospi Feliciano et al, 2008). Para el caso de $\alpha = 0.05$ (5%), esto significa que en un experimento los eventos se hayan sucedido en un 95% y que solo el 5% se hayan producido por el azar (se han producido valores dispersos, diferentes a los esperados).

El nivel de confianza ($1 - \alpha$) indica la probabilidad de aceptar la hipótesis que se plantea. Luego el nivel de confianza será de 0.95

Paso 3: Calcular el número de muestras y determinar la normalidad de las mismas

Se calcula el número de muestras para el análisis de la hipótesis nula y alterna, para lo cual se tiene la siguiente información (Cuadro 16):

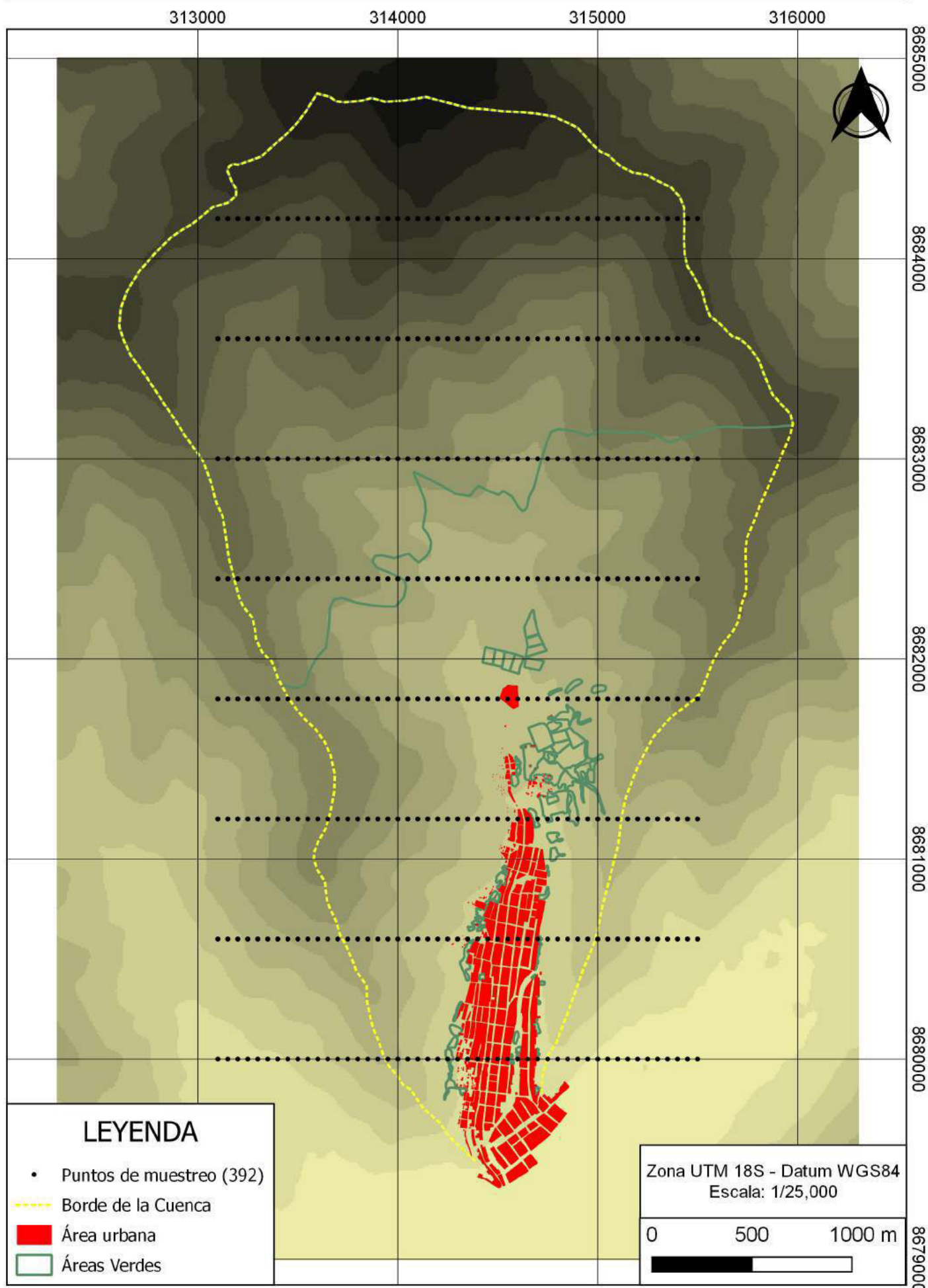
Cuadro 16. Valores para el cálculo de la población muestral para la relación Bicúbica - "Topo to Raster".

Parámetro	Valor
Población (N)	237009
Nivel de confianza (Z)	1.96
Margen de error (e)	5% (0.05)
Proporción que se espera encontrar (p)	50% (0.5)

Fuente. Elaboración propia.

Los valores de la población (N) para el caso de la interpolación bicúbica se realizó no tomando en cuenta los valores nulos en la altitud, por esta

MAPA 19: UBICACIÓN DE MUESTRAS EN PEDREGAL (10 m)



Luego se da paso en determinar la normalidad de estas 392 muestras para lo cual se utiliza la Prueba de Kolmogorov - Smirnov (Bioestadístico, 2010). Utilizando el programa IBM÷ SPSS÷ Statistics versión 21 (IBM, 2012) se obtiene los siguientes resultados (Figura 57):

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		DIF
N		392
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,0602339975
	Std. Deviation	1,284562293
Most Extreme Differences	Absolute	,122
	Positive	,067
	Negative	-,122
Kolmogorov-Smirnov Z		2,424
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Figura 57. Resultados de la prueba Kolmogorov - Smirnov para la determinación de la normalidad de la muestra.

Fuente. SPSS (IBM, 2012).

Donde el valor de Asymp. Sig (2-tailed) es menor al nivel de significación 0.05 por lo cual se tiene que las 392 muestras no guardan una distribución normal.

Ordenando de menor a mayor los valores de las 392 muestras se obtiene un gráfico como el que se muestra a continuación (Figura 58):

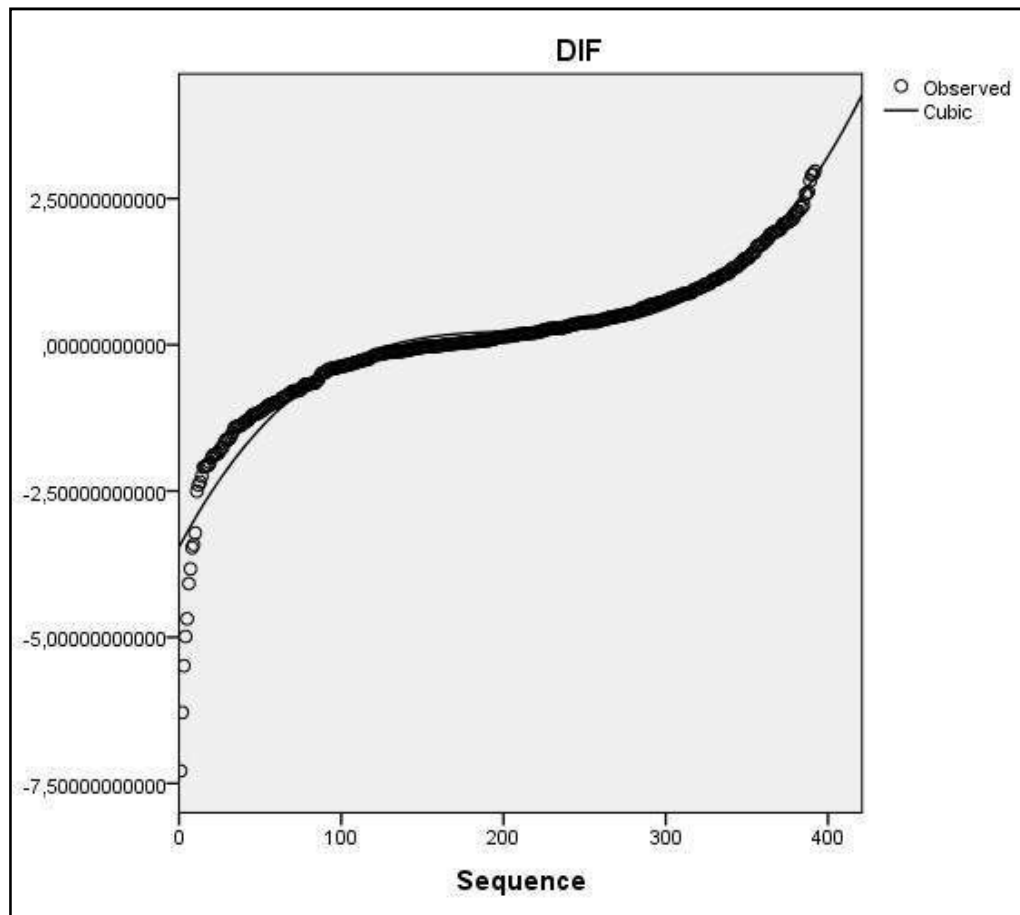


Figura 58. Dibujo de las 392 muestras.

Fuente. SPSS (IBM, 2012).

Donde una curva cubica es la que más se ajusta a las 392 muestras. De acuerdo con el SPSS (IBM, 2012) se tiene los siguientes valores de regresión (Figura 59):

Model Summary and Parameter Estimates									
Dependent Variable: DIF									
Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Cubic	,924	1583,159	3	388	,000	-3,459	,052	,000	3,964E-007

Figura 59. Valores de la regresión de las 392 muestras.

Fuente. SPSS (IBM, 2012).

Donde se tiene que la ecuación de regresión es:

$$Y = -3,4277 + 0,66798X \quad R^2 = 0,000$$

Transformando las 392 muestras con la ecuación de regresión se obtiene los siguientes resultados (Figura 60):

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		DIF_3
N		392
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	-3,4277
	Std. Deviation	,66798
Most Extreme Differences	Absolute	,122
	Positive	,067
	Negative	-,122
Kolmogorov-Smirnov Z		2,424
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000
a. Test distribution is Normal.		
b. Calculated from data.		

Figura 60. Resultados de la prueba Kolmogorov - Smirnov para la determinación de la normalidad de la muestra transformada.

Fuente. SPSS (IBM, 2012).

Donde en valor de Asymp. Sig (2-tailed) sigue siendo menor al nivel de significación 0.05 por lo cual se confirma que las 392 muestras no guardan una distribución normal.

La distribución normal (Figura 61) describe de manera satisfactoria muchos fenómenos naturales (Berrospi Feliciano et al, 2008) y que se sirve para determinar la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno o evento.

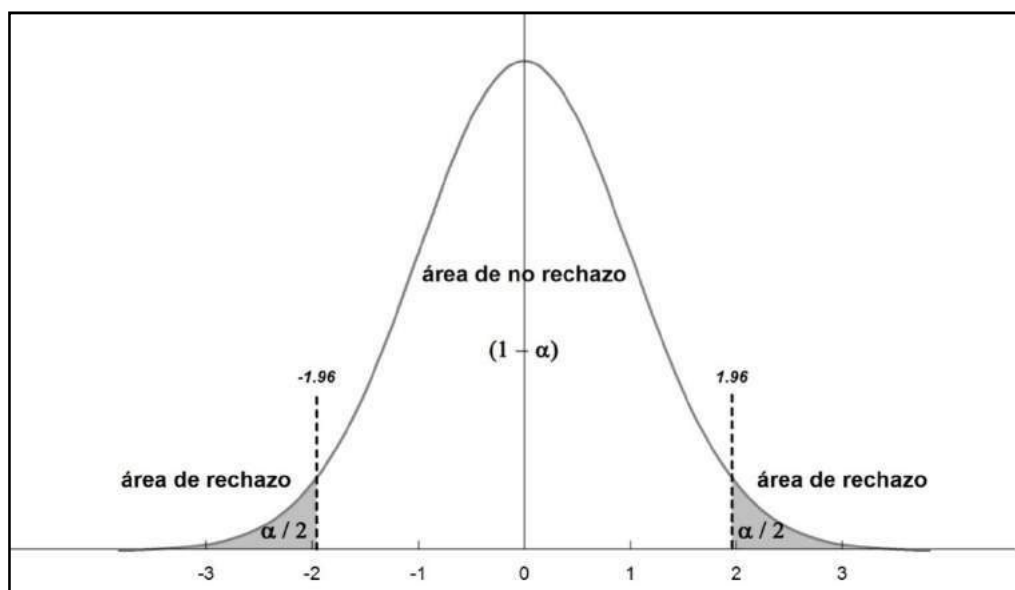


Figura 61. Distribución normal.

Fuente. Berrospi Feliciano et al (2008).

Paso 4: Determinar el modelo estadístico adecuado

En el paso anterior se concluyó que las 392 muestras no tienen una distribución normal, por lo que no es posible aplicar una prueba estadística paramétrica, por lo tanto, se procede a realizar la prueba estadística no paramétrica de la Ji-Cuadrada (χ^2) donde se tiene una muestra aleatoria de tamaño N de una cierta variable y se desea saber si hay razones suficientes si esta variable tiene una distribución de probabilidad dada (Berrospi Feliciano et al, 2008).

Para lo cual se construye unos cuadros donde se categorizan las diferencias aritméticas entre lo obtenido por la interpolación bicúbica menos lo obtenido por la interpolación Topo to Raster_ para los 237009 valores del total de la población y de las 392 muestras tal como se muestra en el Cuadro 18 y Cuadro 19 respectivamente (las unidades de las categorías mostradas están en metros):

Cuadro 18. Categorización de los resultados de la población total.

Categorías	Número	Número (%)
Menor a 0.5 m	95,402	40.25
entre 0.5 a 1 m	55,583	23.45
Mayor a 1 m	86,024	36.30
Total	237,009	100

Fuente. Elaboración propia.

Cuadro 19. Categorización de los resultados de las muestras.

Categorías	Número	Número (%)
Menor a 0.5 m	186	47.45
entre 0.5 a 1 m	79	20.15
Mayor a 1 m	127	32.40
Total	392	100

Fuente. Elaboración propia.

Con esto se quiere determinar si la distribución de las diferencias entre los resultados de la interpolación bicúbica menos los resultados de la interpolación Topo to Raster_ de la población se refleja con los resultados de las mismas variables de la muestra.

En el Cuadro 20 se ve los cálculos necesarios:

Cuadro 20. Prueba de la Ji - Cuadrada.

Categorías	f_0	f_e	$(f_0 - f_e)^2 / f_e$
Menor a 0.5 m	186	$40.25 \times 392 / 100 = 157.78$	5.04733426
entre 0.5 a 1 m	79	$23.45 \times 392 / 100 = 91.92$	1.81599652
Mayor a 1 m	127	$36.29 \times 392 / 100 = 142.26$	1.63691551
		$\chi^2_{1\%}$	8.50024629

Fuente. Elaboración propia.

Como son tres categorías, se tiene que los grados de libertad son:

$$df = 3 - 1 = 2$$

El valor obtenido en la χ^2 es buscado en la tabla de Ji-Cuadrada con el nivel de significación () de 0.05 teniendo:

$$\chi^2_{0.05, 2} = 5.991465$$

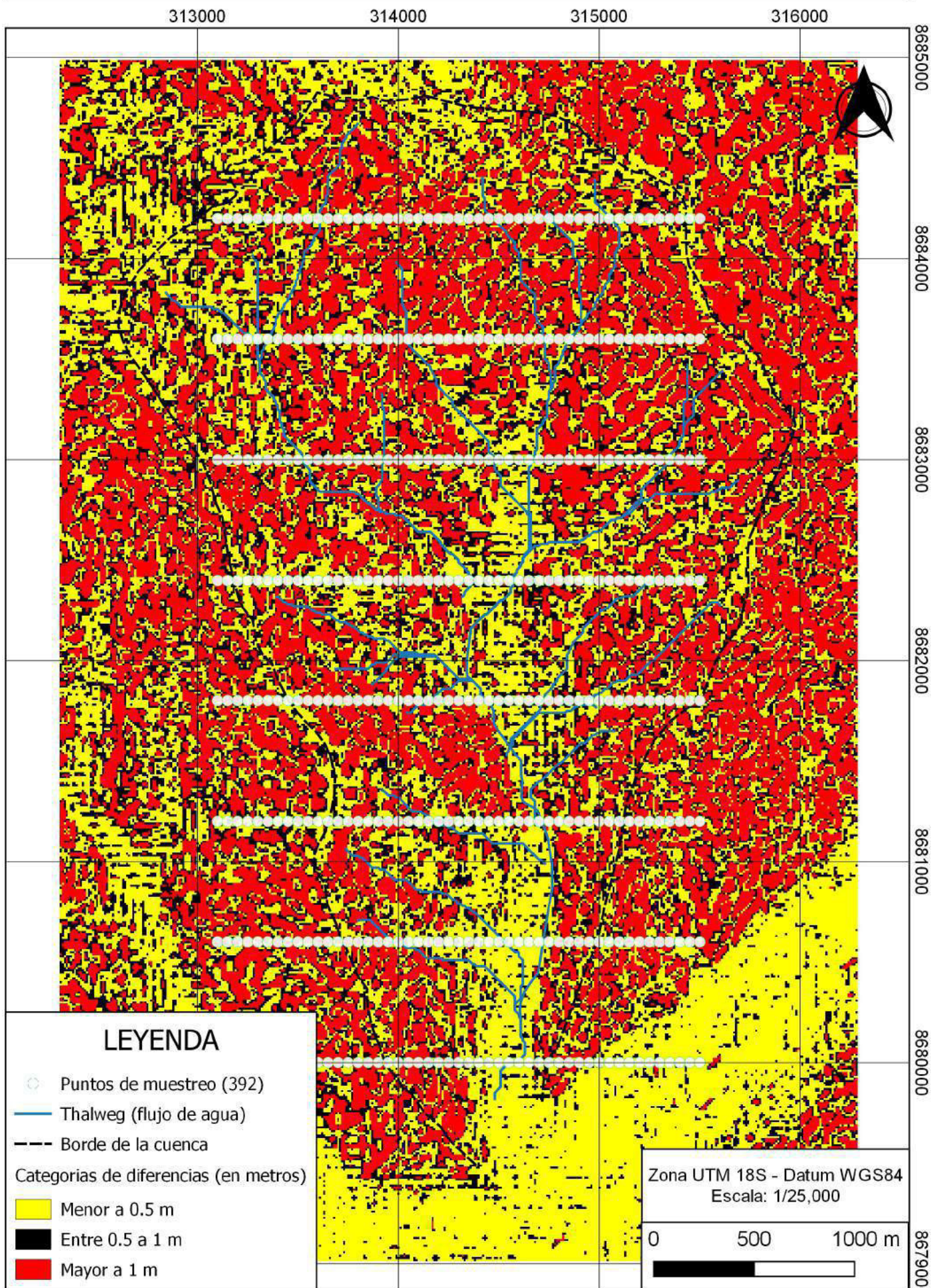
Como el resultado del χ^2_{obt} (8.50024629) es mayor al $\chi^2_{critico}$ (5.991465) se concluye que no se refleja una relación entre la distribución de las diferencias aritméticas de la interpolación bicúbica menos la interpolación Topo to Raster_ obtenida de las 392 muestras en comparación de los 237,009 puntos de la población total.

Paso 5: Toma de decisión de rechazo

Luego de lo obtenido en el Paso 4, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que afirma que la distribución de la diferencia aritmética de los resultados de la interpolación bicúbica menos la interpolación Topo to Raster_ no se encuentra distribuido de manera constante en el área de la cuenca de la quebrada el Pedregal.

Como una manera de ver espacialmente estas diferencias y dar alguna explicación, se presenta el Mapa 20 donde se observa que las diferencias menores de 0.5 m están ubicados en las zonas bajas de la quebrada y en las divisorias de cuencas y microcuencas, las diferencias mayores de 1 m están distribuidas en las laderas de colina o montañas y las diferencias entre 0.5 a 1 m están distribuidas aleatoriamente indicando que sería una categoría de cambio de fase.

MAPA 20: DISTRIBUCION DE LAS DIFERENCIAS DE RESULTADOS DE LA INT. BICÚBICA Y "TOPO TO RASTER"



V. Registros hidrológicos de la cuenca de la quebrada el Pedregal

Cuadro 21. Datos de la estación Yanacoto ubicada anteriormente en la quebrada el Pedregal

Estación:	Yanacoto - 202907 (ver Mapa 3)	Tipo:	Convencional, Hidrológica
Latitud:	11°55' 1"	Estado:	No funcionando
Longitud:	76°42' 1"	Espacio de tiempo:	setiembre de 1955 a agosto de 1960
Departamento:	Lima	Tipo de datos:	registros de caudal diarios
Provincia:	Lima	Valor máximo:	75.40 m ³ /s (1956-02)
Distrito:	Lurigancho - Chosica	Valor mínimo:	9.83 m ³ /s (1957-07)

Fuente. SENAMHI (2017)

Cuadro 22. Cálculo de las curvas regionales de crecidas (Caudales en la cuenca/sub cuencas tributarias)

Nombre	Área (km ²)	Periodo de retorno en años m ³ /s					
		2	5	10	20	50	100
Q. Pedregal	10.6	18	28	38	47	62	73

Fuente. Estudio de Plan Maestro sobre el Proyecto de Prevención de Desastres en la Cuenca del río Rimac-JICA, Marzo 1988.

Cuadro 23. Caudales mensuales medios de la estación Yanacoto periodo 1955-09 al 1960-08

Nº	Año - mes	Caudal (m ³ /s)	Nº	Año - mes	Caudal (m ³ /s)
1	1955-09	13.25	31	1958-03	48.45
2	1955-10	12.15	32	1958-04	17.99
3	1955-11	11.58	33	1958-05	12.32
4	1955-12	15.18	34	1958-06	10.55
5	1956-01	18.42	35	1958-07	10.40
6	1956-02	75.40	36	1958-08	10.55
7	1956-03	69.27	37	1958-09	11.14
8	1956-04	37.43	38	1958-10	12.04
9	1956-05	16.66	39	1958-11	12.36
10	1956-06	12.21	40	1958-12	12.45
11	1956-07	10.86	41	1959-01	12.20
12	1956-08	11.93	42	1959-02	68.84
13	1956-09	12.89	43	1959-03	70.64
14	1956-10	11.82	44	1959-04	57.98
15	1956-11	11.39	45	1959-05	19.08
16	1956-12	11.98	46	1959-06	12.94
17	1957-01	15.99	47	1959-07	12.24
18	1957-02	42.96	48	1959-08	11.81
19	1957-03	48.81	49	1959-09	12.66
20	1957-04	30.93	50	1959-10	16.26
21	1957-05	14.24	51	1959-11	15.16
22	1957-06	10.26	52	1959-12	23.99
23	1957-07	9.83	53	1960-01	31.35
24	1957-08	10.73	54	1960-02	39.59
25	1957-09	11.47	55	1960-03	40.52
26	1957-10	11.43	56	1960-04	22.37
27	1957-11	11.56	57	1960-05	14.30
28	1957-12	13.12	58	1960-06	12.22
29	1958-01	17.44	59	1960-07	11.74
30	1958-02	43.08	60	1960-08	11.62

Fuente. SENAMHI (2017).

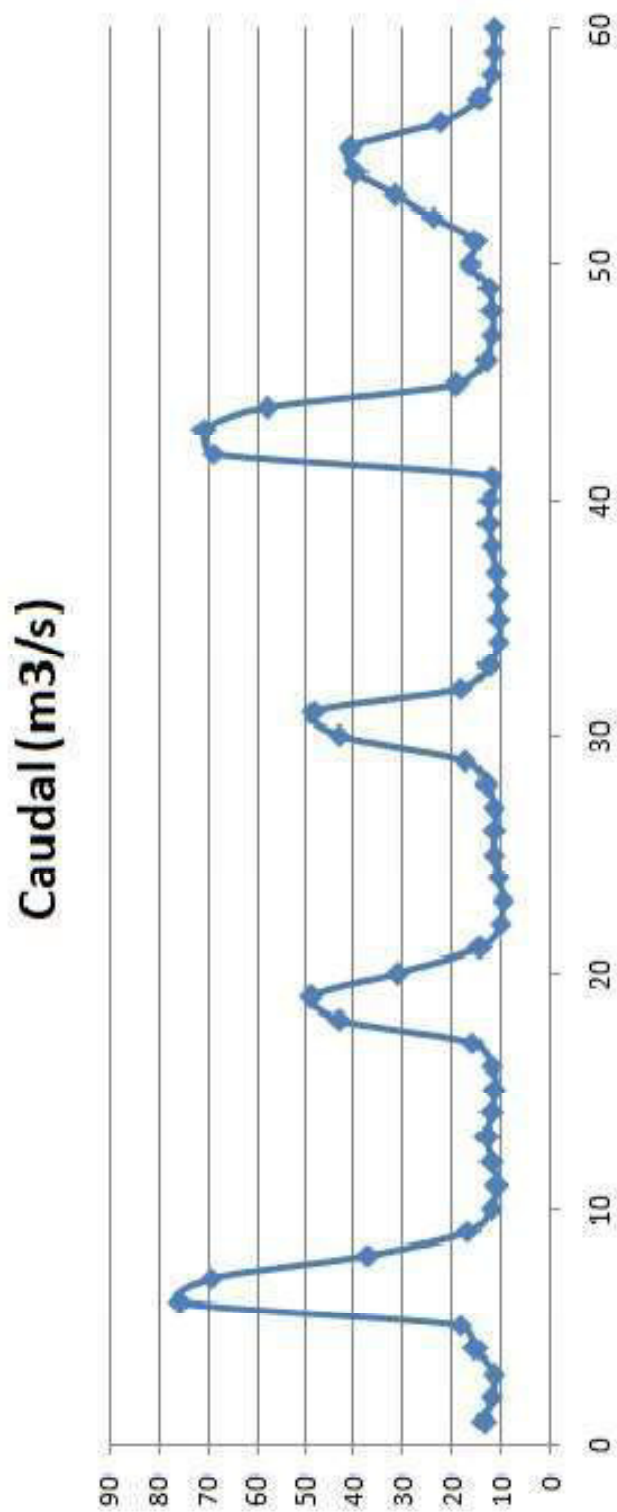


Figura 62. Gráfico de los registros media mensual de la estación Yanacoto periodo 1955-09 al 1960-08.
Fuente. SENAMHI (2017).